

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: Instrumento Virtual para Medida y Análisis de Medidas de Aislamiento Acústico

AUTOR/A: Alejandro Pacheco Castrillejo

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sonido e Imagen

TUTOR/A: Francisco Javier Jiménez Martínez

DEPARTAMENTO: Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física Aplicada

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE/A: Miguel Ángel Freire

TUTOR/A: Francisco Javier Jiménez Martínez

SECRETARIO/A: Juan Manuel López Navarro

Fecha de lectura: Junio 2025

Calificación:

VºBº TUTOR/A

El Secretario/La Secretaria,

RESUMEN

Este proyecto presenta una herramienta para asistir en la realización de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. Los ensayos se realizan conforme a la norma UNE-EN ISO 16283-1:2014 *“Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en edificios y de elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo entre recintos”*.

Se trata de una aplicación desarrollada en LabVIEW™ que guía al usuario a través de cada fase del proceso de medición de un ensayo, analizar las medidas, presentar y almacenar los resultados. Esto permite una comprensión más clara y efectiva de los procedimientos normativos y de los conceptos implicados en el proceso. Además, se ha buscado un objetivo docente que facilite el aprendizaje y la práctica de ensayos de la norma citada.

Previo al desarrollo de la herramienta, se ha llevado a cabo un estudio técnico sobre los principios del aislamiento acústico, acerca de la norma UNE-EN ISO 16283-1 y de aquellas que guardan relación con la misma como pueden ser la norma UNE-EN ISO 717-1 o la UNE-EN ISO 3382-2. Se ha realizado un estado del arte de las herramientas existentes. En base al estudio del estado del arte, se justifica el diseño e implementación de este proyecto, ya que se ha conseguido una herramienta de bajo coste que cubre las necesidades contempladas en la norma y que añade más funcionalidades. El instrumento virtual implementado es legible, expandible y escalable.

La solución propuesta emplea funciones de adquisición de señal a través de micrófonos, analiza los mismos datos en bandas de tercio de octava, calcula los índices requeridos, presenta y almacena los resultados en formato gráfico y numérico. A diferencia de las soluciones presentes en el mercado (muchas de ellas costosas y dependientes de hardware específico), esta herramienta ha sido diseñada con un enfoque didáctico y parcialmente automatizado. Esto permite a estudiantes o técnicos en formación seguir una metodología normativa fiel sin necesidad de equipos complejos.

Este proyecto se apoya en conocimientos adquiridos durante las asignaturas de Acústica Arquitectónica y de Programación en LabVIEW™. Gracias a ello, profundiza de forma práctica en la integración normativa y el diseño de interfaces amigables al usuario.

El resultado de este proyecto presenta una herramienta perfectamente válida para la realización de los procesos de medición, análisis de datos, presentación y almacenamiento de los resultados de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. A su vez, abre posibilidades para su adaptación futura a otros tipos de mediciones acústicas, como el aislamiento acústico a ruido de impacto o aislamiento de fachadas. Su carácter flexible y formativo la convierte en una alternativa valiosa a los sistemas actuales, permitiendo hacer más accesible el conocimiento práctico de la ingeniería acústica.

ABSTRACT

This project presents a tool designed to assist in the execution of airborne sound insulation tests between rooms. These tests are carried out in accordance with the UNE-EN ISO 16283-1:2014 standard *“Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms”*.

It is an application developed in LabVIEW™ that guides the user through each phase of the measurement process, analyzes the acquired signals, presents and store the results. This enables a clearer and more effective understanding of the normative procedures, and the acoustic concepts involved. Additionally, the tool has a strong educational purpose to facilitate learning and practicing measurements based on the standard.

Before developing the tool, a technical study was carried out on the principles of sound insulation, the UNE-EN ISO 16283-1 standard, and related regulations such as UNE-EN ISO 717-1 and UNE-EN ISO 3382-2. A state-of-the-art analysis of existing tools was also conducted. Based on this review, the design and implementation of the proposed system is justified, as it offers a low-cost solution that fulfills the measurement requirements of the standard while incorporating additional functionalities. The implemented virtual instrument is readable, expandable and scalable.

The proposed solution uses signals acquisition functions through microphones, processes the signals in one-third octave bands, calculates the required sound insulation indices, presents and stores the results both numerically and graphically. Unlike most commercial solutions (often costly and dependent on proprietary hardware) this tool is designed with a didactic and semi-automated approach. This allows students or trainees to follow a standard-compliant methodology without the need for complex or certified equipment.

This project is grounded in the knowledge acquired in the courses Architectural Acoustics and LabVIEW™ Programming. As such, it goes beyond theory to explore the practical integration of standards and design of user-oriented interfaces.

The outcome of this project is a tool that is fully valid for carrying out measurements processes, data analysis and result presentation in airborne sound insulation tests between rooms. Moreover, it opens the door to future adaptations for other types of acoustic measurements, such as impact sound insulation or facade sound insulation. Its flexible and educational nature makes it a valuable alternative to existing systems, helping to make practical knowledge of acoustic engineering more accessible.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Estructura interna del oído [4].....	13
Figura 1-2. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson [6].....	15
Figura 1-3.. Curvas de ponderación A, B y C [8].....	16
Figura 1-4.. Reflexión y transmisión de ondas acústicas sobre superficies [9].	16
Figura 1-5. Trayectorias de barrido manual [10].....	20
Figura 1-6. Diagrama de bloques de un altavoz.	21
Figura 1-7. Diagrama de bloques genérico de un sonómetro[17].	21
Figura 2-1. Captura de pantalla de la aplicación Building Acoustics PRO App [21].	24
Figura 2-2. Captura de pantalla del software Sound Insulation Reporter [19].	25
Figura 2-3. Software CESVA Measuring Assistant [20].....	25
Figura 2-4. Software dBTRAIT [22].....	26
Figura 2-5. Captura de pantalla del software Dirac [23].	27
Figura 5-1.Diagrama de bloques de un micrófono de tipo “electret” [25].	32
Figura 5-2.Respuesta en frecuencia del micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].....	33
Figura 5-3.Patrón polar del micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].	33
Figura 5-4. Micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].....	34
Figura 5-5.Interfaz de audio Focusrite Scarlett 18i8 3th Generation [27].....	35
Figura 5-6.Front Panel y Block Diagram.....	36
Figura 5-7. Bucle While en LabVIEW™ [29].....	36
Figura 5-8. Estructura Case en LabVIEW™[30].	37
Figura 5-9.Diagrama de bloques del proceso completo de medición.	38
Figura 5-10. Leyenda de los ejemplos de situaciones de mediciones horizontales [10].	40
Figura 5-11. Ejemplo de medición horizontal 1 [10].	40
Figura 5-12. Ejemplo de medición horizontal 2 [10].	41
Figura 5-13. Leyenda de los ejemplos de situaciones de mediciones verticales [10].	41
Figura 5-14. Ejemplo de medición vertical 1 [10].....	41
Figura 5-15. Ejemplo de medición vertical 2 [10].....	41

Figura 5-16.Diagrama de bloques del proceso de medición del Tiempo de Reverberación. ..	43
Figura 5-17.Diagrama de bloques del proceso de medición del Ruido de fondo en la sala receptora.	44
Figura 5-18.Diagrama de bloques del proceso de medición del Nivel de Emisión.....	45
Figura 5-19.Diagrama de bloques del proceso de medición del Nivel de Recepción.....	45
Figura 5-20.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Ruido de fondo en la sala receptora.	46
Figura 5-21.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Nivel de Emisión.	47
Figura 5-22.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Nivel de Recepción.	47
Figura 5-23.Diagrama de bloques del proceso de cálculo de corrección de Nivel de Recepción por Ruido de Fondo.	49
Figura 5-24.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Tiempo de Reverberación.	50
Figura 5-25.Diagrama de bloques del proceso de cálculo de la Diferencia de Niveles Estandarizada.	51
Figura 5-26.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Índice de Reducción Acústica Aparente.	52
Figura 5-27.Diagrama de bloques del proceso de cálculo de los índices <i>C</i> y <i>C_{tr}</i>	57
Figura 5-28. Ejemplo de plantilla para el registro de resultados según la norma UNE-EN ISO 16283-1.	58
Figura 5-29. Explicación de la estructura de manejo de datos.	61
Figura 5-30. Explicación de las posibles combinaciones en la estructura da datos.	62
Figura 5-31. Front Panel del VI “ <i>MAKE_Sound_Measurements</i> ” Pestaña 1.	63
Figura 5-32. Front Panel del VI “ <i>MAKE_Sound_Measurements</i> ” Pestaña 2.	64
Figura 5-33. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI “ <i>MAKE_Sound_Measurements</i> ”.	64
Figura 5-34. Árbol de jerarquias del VI “ <i>MAKE_Sound_Measurements</i> ”	65
Figura 5-35. Measure_Sound_Pressure VI.....	66
Figura 5-36. Finite-generation sound card VI.	66
Figura 5-37. Play Sound File VI.....	67
Figura 5-38. Analyze_Sound_Pressure_Level SubVI.....	67
Figura 5-39. Analyze_Sound_Pressure_Level Block Diagram.	67

Figura 5-40. SVL Scale Voltage to EU (1 Ch) VI.....	68
Figura 5-41. 1_3 of Octave (SubVI) VI.....	68
Figura 5-42. Método de cálculo del Tiempo de Reverberación.....	69
Figura 5-43. <i>Analyze_TR_f_set_of_signals</i> VI.....	70
Figura 5-44. <i>Analyze_TR_f_set_of_signals</i> Block Diagram.....	70
Figura 5-45. <i>Analyze_TR_one_signal</i> VI.....	70
Figura 5-46. <i>Analyze_TR_one_signal</i> Front Panel.....	71
Figura 5-47. <i>Analyze_TR_one_signal</i> Block Diagram.....	71
Figura 5-48. <i>Make Filename (SubVI)</i> VI.....	72
Figura 5-49. Front Panel del VI " <i>READ_Sound_Measurements_File</i> " Pestaña 1.....	73
Figura 5-50. Front Panel del VI " <i>READ_Sound_Measurements_File</i> " Pestaña 2.....	74
Figura 5-51. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI " <i>READ_Sound_Measurements_File</i> ".	74
Figura 5-52. Árbol de jerarquias del VI " <i>READ_Sound_Measurements_File</i> "	75
Figura 5-53. Front Panel del VI " <i>VIEW_Sound_Test_Results</i> " Pestaña 1.....	77
Figura 5-54. Front Panel del VI " <i>VIEW_Sound_Test_Results</i> " Pestaña 2.....	77
Figura 5-55. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI " <i>VIEW_Sound_Test_Results</i> ".	78
Figura 5-56. Árbol de jerarquias del VI " <i>VIEW_Sound_Test_Results</i> "	78
Figura 5-57. " <i>Read_All_Files_Test_Data</i> "SubVI.....	79
Figura 5-58. " <i>Read Folders and Files names</i> "SubVI.....	80
Figura 5-59. " <i>READ_Sound_Measurements_file_(SubVI)</i> "SubVI.....	80
Figura 5-60. " <i>Background_Noise_Correction</i> "SubVI.....	80
Figura 5-61. " <i>Difference Level Error (dB)</i> "SubVI.....	81
Figura 5-62. " <i>DnT_calculus</i> " SubVI.....	81
Figura 5-63. " <i>DnT-R'_,_,_Total</i> " SubVI.....	81
Figura 5-64. " <i>Read Spectrum</i> " SubVI.....	82
Figura 5-65. " <i>X_w</i> " SubVI.....	82
Figura 5-66. " <i>C (tr) index</i> " SubVI.....	82

Figura 5-67. “R’_ررر” SubVI.....	83
Figura 5-68. “R’_calculus” SubVI.....	83
Figura 6-1.Resultados de la medida de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en tiempo.....	87
Figura 6-2.Resultados de la medida de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en frecuencia.	87
Figura 6-3.Resultados de la medida de nivel de ruido de fondo para la primera posición de micrófono en tiempo.....	88
Figura 6-4.Resultados de la medida de nivel de ruido de fondo para la primera posición de micrófono en frecuencia.	88
Figura 6-5.Resultados de la medida de Tiempo de Reverberación para la primera posición de micrófono en tiempo.....	89
Figura 6-6.Resultados de la medida de Tiempo de Reverberación para la primera posición de micrófono en frecuencia.	90
Figura 6-7.Resultados de la visualización de la medida almacenada de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en tiempo.	90
Figura 6-8.Resultados de la visualización de la medida almacenada de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en frecuencia.....	91
Figura 6-9.Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo. Información asociada al ensayo.....	92
Figura 6-10.Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo. Resultados gráficos y numéricos.....	92
Figura 10-1. Interfaz de usuario del apartado “MAKE_Sound_Measurements”.....	100
Figura 10-2. Interfaz de usuario del apartado “READ_Measurements_File”.....	102
Figura 10-3. Interfaz de usuario del apartado “VIEW_Sound_Test_Results”.....	103
Figura 10-4. Interfaz de usuario del apartado” VIEW_Sound_Test_Results”. Presentación de resultados	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Características de las soluciones comerciales actuales.....	28
Tabla 5-1. Combinaciones fuente-micrófono.	40
Tabla 5-2. Número de posiciones micrófono-fuente para la medida del tiempo de reverberación	43
Tabla 5-3. Curva de referencia para el cálculo de $DnT, w / R'w$	53
Tabla 5-4. Ejemplo de cálculo de $DnT, w/R'w$	54
Tabla 5-5. Espectros de referencia para el cálculo de C y Ctr	55
Tabla 5-6. Incertidumbre asociada a DnT y R'	59
Tabla 5-7. Incertidumbre asociada al resto de índices de un ensayo	60
Tabla 9-1. Equipos adquiridos para la realización del proyecto	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1-1</i>	18
<i>Ecuación 1-2</i>	18
<i>Ecuación 1-3</i>	19
<i>Ecuación 1-4</i>	19
<i>Ecuación 1-5</i>	19
<i>Ecuación 5-1</i>	42
<i>Ecuación 5-2</i>	46
<i>Ecuación 5-3</i>	46
<i>Ecuación 5-4</i>	48
<i>Ecuación 5-5</i>	48
<i>Ecuación 5-6</i>	48
<i>Ecuación 5-7</i>	51
<i>Ecuación 5-8</i>	52
<i>Ecuación 5-9</i>	56
<i>Ecuación 5-10</i>	56
<i>Ecuación 5-11</i>	60
<i>Ecuación 5-12</i>	60
<i>Ecuación 5-13</i>	60
<i>Ecuación 5-14</i>	68
<i>Ecuación 5-15</i>	68

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
CTE	Código Técnico de la Edificación
Une	Una Norma Española
EN	Norma Europea
ISO	International Organization for Standardization
TEM	Transductor Electromecánico
TMA	Transductor Mecánico-Acústico
IEC	International Electrotechnical Commission
VI	Virtual Instrument
SubVI	Sub Virtual Instrument

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 EL SONIDO.....	12
1.2 EL RUIDO.....	12
1.2.1 EFECTOS DEL RUIDO.....	12
1.3 NECESIDAD DE MEDIDAS.....	14
1.3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	16
1.4 Norma UNE-EN ISO 16283-1.....	17
1.5 Estructura del resto de la memoria.....	22
2 ESTADO DEL ARTE	23
2.1 Building Acoustics PRO App.....	24
2.2 Sound Insulation Reporter.....	24
2.3 CESVA Measuring Assistant.....	25
2.4 DBTRAIT.....	26
2.5 DIRAC.....	26
3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	29
4 ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES DE DISEÑO.....	31
5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.....	32
5.1 Descripción del hardware utilizado (micro e interfaz).	32
5.1.1 Micrófono DBX DriveRack RTA-M.....	32
5.1.2 Interfaz de audio Focusrite Scarlett 18i8 3th Generation.....	34
5.2 Breve descripción del lenguaje de programación.	35
5.2.1 Características principales.....	35
5.2.2 Entorno de trabajo.	36
5.2.3 Estructura y estilo de programación.	36
5.2.4 Buenas prácticas de programación en LabVIEW™.....	37

5.3	Descripción del proceso de medición, análisis y presentación de los resultados	38
5.3.1	Procedimiento detallado de medida	38
5.3.2	Análisis y cálculos a realizar por la herramienta	45
5.3.3	Presentación de resultados	58
5.4	Explicación del desarrollo del software que implementa los pasos de medida	61
5.4.1	MAKE_Sound_Measurements.....	62
5.4.2	READ_Sound_Measurements_File.....	72
5.4.3	VIEW_Sound_Test_Results.....	76
6	RESULTADOS	86
6.1	Resultados del proceso de medición	86
6.2	Resultados del proceso de visualización de datos almacenados	90
6.3	Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo.....	91
7	CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	94
7.1	Conclusiones	94
7.2	Líneas de trabajo futuras	95
8	BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS.....	96
9	PRESUPUESTO	99
10	ANEXO: MANUAL DE USUARIO	100

1 INTRODUCCIÓN

1.1 EL SONIDO

Para introducir el proyecto que se va a desarrollar es necesario hablar del sonido [1]. El sonido se produce por la vibración de una fuente, que genera ondas mecánicas que dependen de un medio elástico (aire, agua, sólido...) para poder propagarse. La propagación del sonido es el resultado del efecto de oscilación que produce el mismo en las partículas del medio elástico, alejándolas de su posición de equilibrio para posteriormente volver a ella.

La percepción del sonido depende de factores como la frecuencia, la amplitud o el medio por el cual se propague. Un exceso de nivel o una mala gestión del sonido puede desembocar en un problema como es el ruido.

1.2 EL RUIDO

El ruido se define como un sonido no deseado que puede resultar molesto o desagradable [2]. Este se produce por la mezcla de ondas sonoras de distintas frecuencias y amplitudes, e influye significativamente en la calidad de vida de las personas que lo sufren.

El proyecto en cuestión hace referencia al ruido aéreo, el cuál es aquel que se produce y se transmite por el aire. Las perturbaciones que producen en el aire las fuentes sonoras generan ondas que viajan a través de este y acaban chocando con las superficies que las rodean, generando en ellas vibraciones que las convierten en nuevos focos.

1.2.1 EFECTOS DEL RUIDO

Los efectos sobre la salud de una exposición prolongada al ruido son varios, tales como efectos sobre la audición, sobre el sueño, cardiovasculares, en la salud mental o sobre el rendimiento, entre otros. Algunos de estos, se especifican en los posteriores apartados según lo dictaminado por Serafín Sánchez Gómez, en su ponencia presentada en el IX Congreso Nacional de Sanidad Ambiental (2007), la contaminación acústica afecta a la salud [3].

Efectos sobre la audición.

El efecto principal del ruido es la pérdida de audición ante una exposición al mismo. Se puede dar por diversas formas de exponerse al ruido, tanto por una única experiencia con un sonido intenso, como por la permanencia prolongada en entornos con altos niveles sonoros.

Dicha sobreexposición provoca daños y, en casos avanzados, la muerte de unas células denominadas células ciliadas. Estas células, localizadas en la membrana basilar que recubre la cóclea (situada en el oído interno), son responsables de transformar las vibraciones mecánicas del sonido en impulsos eléctricos que el cerebro puede interpretar.

Estas vibraciones hacen que el líquido coclear se desplace, lo cual provoca el movimiento de la membrana basilar y, con ello, el de las terminaciones de las células ciliadas, conocidas

como estereocilios. Esto provoca una inclinación en los estereocilios que, al inclinarse, abren canales iónicos que generan una señal eléctrica, la cual es transmitida por el nervio auditivo al cerebro.

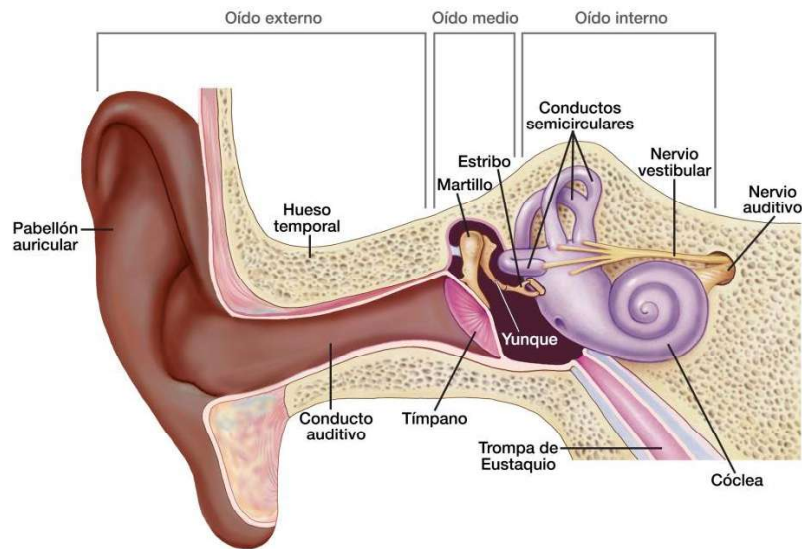


Figura 1-1. Estructura interna del oído [4]

Algunas de las consecuencias del daño a las células ciliadas causado por la exposición al ruido pueden ser la pérdida de sensibilidad auditiva, la distorsión en la percepción del sonido, la pérdida de audición irreversible o el desarrollo de tinnitus, que consiste en la percepción de un pitido, zumbido o sonidos similares en los oídos o la cabeza sin que exista una fuente que lo genere.

Efectos sobre el sueño.

Estos efectos pueden aparecer debido a un nivel de ruido de fondo elevado (superior a 30 dBA) o por ruidos esporádicos fuertes durante el tiempo de sueño (45 dBA). Algunos de los efectos consisten en la dificultad para conciliar el sueño, la interrupción del sueño, la alteración de su profundidad (disminuyendo la duración de las fases más profundas, necesarias para una buena recuperación), cambios en la presión arterial, en la frecuencia cardíaca y en la respiración. Todo esto provoca en el individuo una sensación de fatiga, depresión y reducción del rendimiento.

Efectos cardiovasculares.

Dichos efectos pueden aparecer en personas susceptibles al exponerse a altos niveles sonoros debido a la acción de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) que provocan alteraciones pasajeras del ritmo cardíaco. Una exposición prolongada a elevados niveles de ruido se ha relacionado ligeramente a la cardiopatía isquémica y, en menor medida, a la hipertensión arterial, aunque la magnitud y duración de los efectos dependen, a su vez, de las características y estilo de vida del individuo afectado.

Efectos sobre la salud mental.

Los efectos del ruido sobre la salud mental pueden aparecer debido a la exposición a ruidos fuertes que, sobre individuos susceptibles, puede provocar un aumento de la agresividad y reducir la actitud cooperativa. A su vez, el ruido ambiental puede acelerar la aparición de trastornos mentales latentes, tales como trastornos de ansiedad, fobias o trastornos obsesivo-compulsivos.

Efectos sobre el rendimiento.

La exposición a un ligero ruido puede mejorar el rendimiento en tareas sencillas a corto plazo, sin embargo, en el caso de tareas más complejas se observa un deterioro en el rendimiento. Las actividades cuyo rendimiento se ve más afectado por los efectos del ruido son la lectura, la atención, la solución de problemas y la memorización.

1.3 NECESIDAD DE MEDIDAS

Debido a todas las afecciones que puede provocar un exceso en el nivel de ruido, se hace necesario caracterizarlo y cuantificarlo. Para ello es necesario medir el nivel de presión sonora, que se trata de una característica puramente física, alejada de la sensación de intensidad que perciben los individuos. Esta sensación depende de diversos factores como pueden ser la frecuencia del sonido que se escucha, la intensidad o fenómenos relacionados con el enmascaramiento temporal.

En cuanto a la frecuencia, se perciben de manera más intensa los sonidos de frecuencias más centradas en el rango audible, situado de 20 Hz a 20 kHz, que sonidos de frecuencias más cercanas a los extremos (sonidos muy graves o agudos).

Respecto al fenómeno de enmascaramiento se observan distintos comportamientos, tales como que un sonido estático (como puede ser el ruido blanco) se percibe con una menor intensidad que uno variante (en intensidad o frecuencia), llegando incluso a poder ser obviado. Otro fenómeno que destacar es que los sonidos de menor intensidad precedidos de otro más fuerte quedan enmascarados por él, haciéndolos más difíciles de percibir (siempre y cuando sean de una naturaleza espectral similar).

La manera en la que se percibe el sonido fue estudiada por Fletcher y Munson [5] que desarrollan, en la década de 1930, las llamadas curvas isofónicas, unas gráficas de igual sonoridad, en las que cada curva representa el nivel de presión sonora que se ha de producir a una determinada frecuencia para conseguir la misma sensación de escucha que la obtenida con un determinado nivel a la frecuencia de 1 kHz.

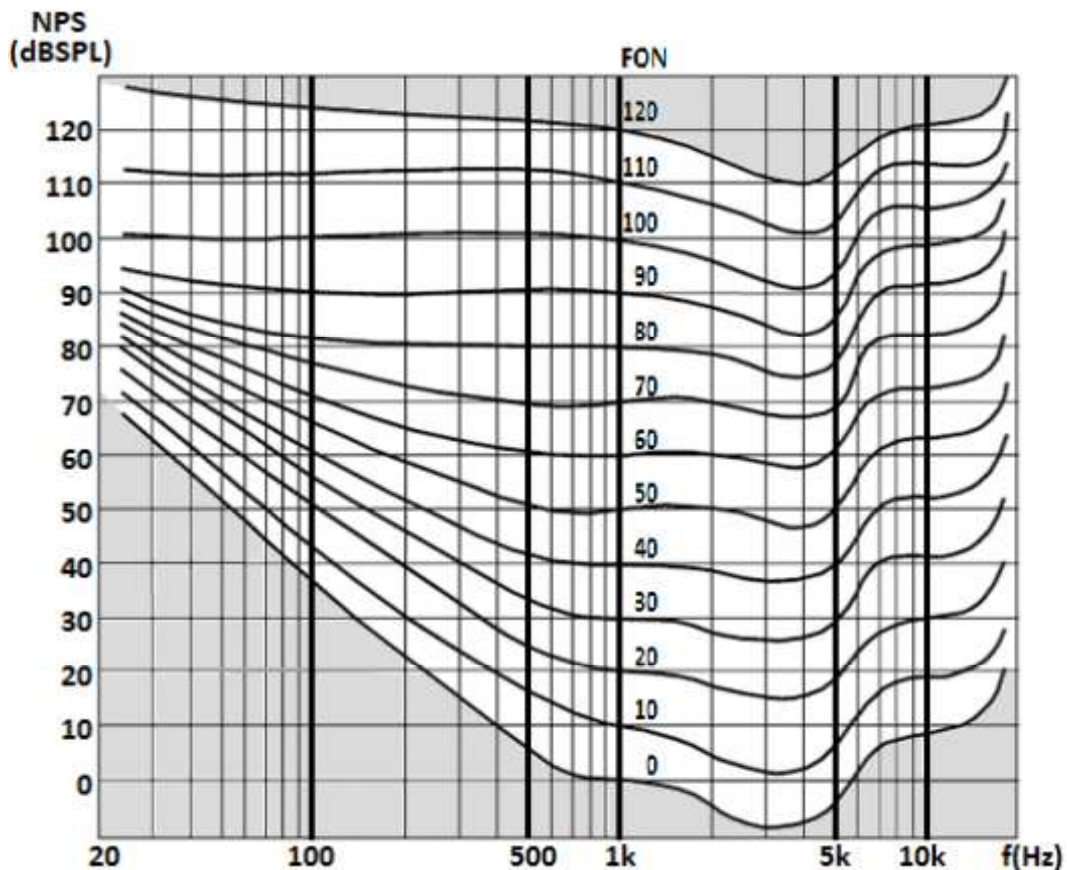


Figura 1-2. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson [6].

Estas curvas no son las únicas que han estudiado el fenómeno de la percepción del sonido, sino que también se pueden encontrar otros estudios como los realizados por Robinson y Dadson (realizado en 1956) o el de la norma UNE-EN ISO 226:2013 [7].

Ante la problemática de acercar las medidas realizadas a los valores arrojados por las curvas isofónicas, surgen las curvas de ponderación en frecuencia. Su principal función es la de aproximar los datos obtenidos con equipos que miden el nivel de presión sonora a la respuesta del oído. Las curvas de ponderación más utilizadas son las curvas A, B y C.

La curva de ponderación A es, generalmente, usada para medir ruidos ambiente o ruidos de fondo, es decir, ruidos de poco nivel. Esto es debido a que esta curva presenta una gran atenuación a frecuencias graves y una ligera atenuación en las más agudas.

En cuanto a la curva de ponderación B, es más adecuada para sonidos de nivel medio, como, por ejemplo, sonidos musicales. Esta presenta una atenuación en las frecuencias más bajas, pero no tan abrupta como la curva de ponderación A.

Por último, la curva de ponderación C es más aconsejable para sonidos de mayor nivel, siendo de las tres, la que presenta una respuesta más plana.

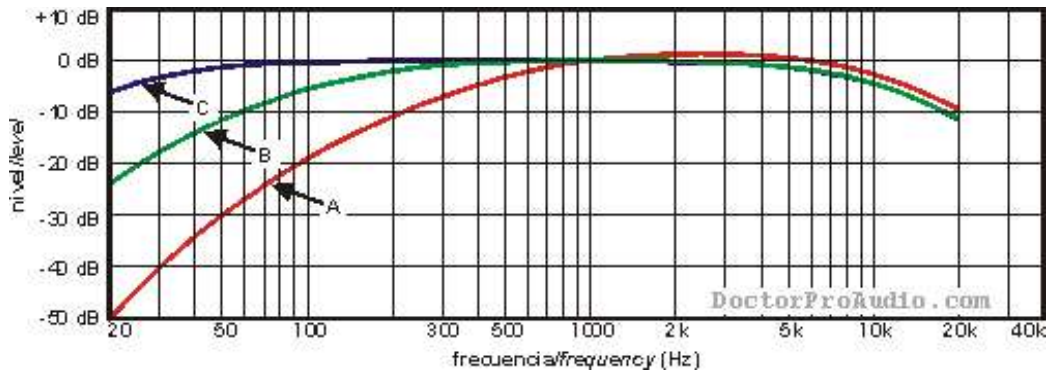


Figura 1-3.. Curvas de ponderación A, B y C [8].

1.3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO

Para tratar de garantizar la salud y el confort de los individuos que habitan un recinto, y así, evitar los efectos del sonido no deseado sobre ellos, se necesita un buen aislamiento acústico.

El aislamiento acústico se define como la protección de un recinto contra la penetración de sonidos que interfieran con la señal sonora deseada **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Para encontrar la forma más efectiva de protección contra esa señal no deseada, primero ha de definirse la naturaleza del ruido indeseado. Como este proyecto hace referencia al ruido aéreo, el aislamiento relacionado directamente con él es el aislamiento acústico a ruido aéreo, que se define como la pérdida de energía que experimentan las ondas acústicas que se propagan por el aire al atravesar un obstáculo, como una pared o cualquier otro elemento constructivo.

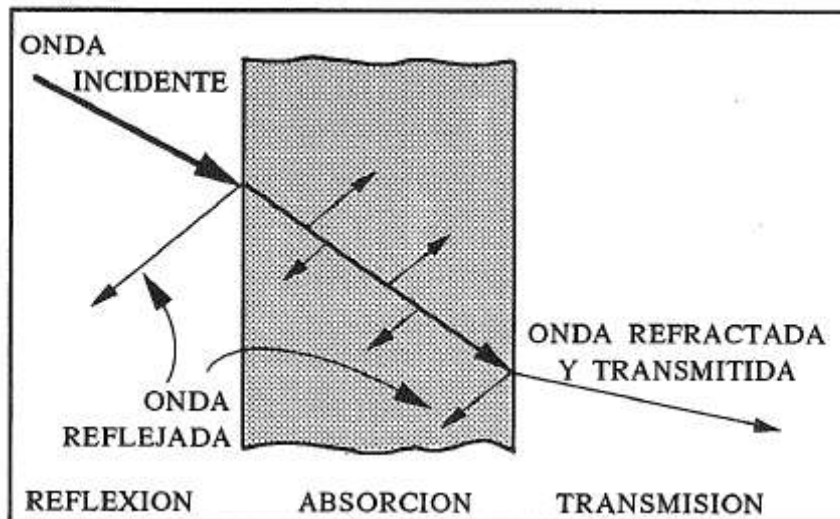


Figura 1-4.. Reflexión y transmisión de ondas acústicas sobre superficies **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Para conseguir unas medidas de aislamiento acústico a ruido aéreo que garanticen fiabilidad y comparabilidad entre resultados se establecen distintos métodos normalizados de medición. Algunas de las normas de referencia son la norma internacional UNE-EN ISO

16283-1:2015, adoptada en España como la norma UNE-EN ISO 16283-1:2014 [10], define los procedimientos para realizar in situ ensayos de aislamiento a ruido aéreo entre habitaciones. Asimismo, la UNE-EN ISO 12999-1:2021 [11] ofrece directrices para la estimación de la incertidumbre en dichas mediciones. A nivel nacional, el Código Técnico de la Edificación (CTE), en su Documento Básico HR (Protección frente al ruido) [12], establece requisitos mínimos que deben cumplirse en edificios residenciales, culturales y educativos.

De todas las normas y documentos mencionados anteriormente, este proyecto toma como referencia la norma UNE-EN ISO 16283-1:2015 (Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción, Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo). Esta norma establece los procedimientos para llevar a cabo un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo, definiendo aspectos clave como las condiciones del ensayo, el posicionamiento de micrófonos y fuentes sonoras, métodos de análisis de datos y cálculos necesarios.

A su vez, esta norma necesita de procedimientos y definiciones albergadas en otras normas, como son la norma UNE-EN ISO 3382-2 :2008 (Medición del tiempo de reverberación en salas ordinarias) [13], la UNE-EN-ISO 717-1:2013 (Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo) [14] y la norma UNE-EN ISO 12999-2:2021 (Determinación y aplicación de las incertidumbres de medición en la acústica de edificios, Parte 2: Absorción acústica).

1.4 Norma UNE-EN ISO 16283-1

Una correcta evaluación del aislamiento acústico es esencial para garantizar el confort de los individuos dentro de los edificios y construcciones. Para garantizar la fiabilidad, reproducibilidad y comparación entre resultados de una evaluación de aislamiento acústico a ruido aéreo, son necesarios ciertos procedimientos estandarizados para su cumplimiento en todos los ensayos. Con este fin, surge la norma internacional UNE-EN ISO 16283-1:2014, adoptada en España como la norma UNE-EN ISO 16283-1:2014 “Acústica – Medición in situ del aislamiento acústico en edificios y de elementos de construcción – Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo entre recintos”.

Esta norma establece el método por el cuál han de realizarse los ensayos de medida de aislamiento acústico a ruido aéreo *in situ* entre dos recintos cerrados, como puede ser entre habitaciones, despachos o salas. La medición consiste, a grandes rasgos, en comparar los niveles de presión sonora en una sala emisora, donde se sitúa una fuente que genera un ruido estacionario (preferiblemente ruido rosa), y una sala receptora, una vez aplicadas las correcciones por el ruido de fondo y el tiempo de reverberación de dicha sala, detalladas en la norma. Para el análisis en frecuencia del ensayo se han de emplear filtros de tercio de octava en todo el rango de frecuencias de interés (normalmente de 100 Hz a 5000 Hz, aunque existen procedimientos en la norma para frecuencias más bajas de entre 50 a 80 Hz. Estos procedimientos, por su complejidad y menor aplicación, no serán contemplados en el desarrollo del presente proyecto.

En los primeros apartados de la presente norma se presentan las definiciones de ciertos términos, índices y símbolos que serán de obligado conocimiento para la correcta interpretación de la norma. Algunos de los más importantes son:

- Nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto, L : Según la norma este término se define como diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacial y temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia. Tomando el promedio espacial sobre la zona central del recinto donde la radiación directa desde cualquier altavoz o la radiación del campo cercano desde los límites del recinto tienen una influencia despreciable.
- Tiempo de reverberación, T : La norma lo define como el tiempo requerido por el nivel de presión acústica en un recinto para disminuir en 60 dB una vez que haya cesado la actividad de la fuente sonora. Para la evaluación de este parámetro la UNE-EN ISO 16283-1 se apoya en la norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 "Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.
- Nivel de ruido de fondo: se define como el nivel de presión acústica medido en el recinto receptor causado por el efecto de todas las fuentes sonoras existentes, excepto el altavoz.
- Diferencia de niveles, D : La norma lo define como la diferencia de niveles de presión acústica promediados energéticamente entre los recintos emisor y receptor, expresada en decibelios. La fórmula utilizada para su cálculo es la siguiente:

$$D = L_1 - L_2 \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Donde L_1 es el nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto emisor y L_2 es el nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto receptor.

- Diferencia de niveles estandarizada, D_{nT} : Se define como la normalización de la diferencia de niveles a un valor de tiempo de reverberación del recinto receptor, expresada en decibelios. Su cálculo se lleva a cabo con la siguiente fórmula:

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Siendo D la diferencia de niveles, T el tiempo de reverberación en el recinto receptor y T_0 el tiempo de reverberación de referencia para viviendas, $T_0 = 0,5$ segundos.

- Índice de refracción acústica aparente, R' : La norma lo define como diez veces el logaritmo decimal del cociente de la potencia acústica (W_1), que es incidente en un elemento de ensayo, a la potencia acústica total radiada al recinto receptor si, además de a la potencia acústica (W_2), radiada por el elemento de ensayo, es significativa la potencia acústica (W_3), radiada por elementos de flanco o por otros componentes.

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Este índice se expresa en decibelios y se evalúa según la siguiente fórmula:

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad \text{Ecuación 1-4}$$

Siendo D la diferencia de niveles, S el área de separación común y A el área de absorción equivalente del recinto receptor, estas dos últimas expresadas en metros cuadrados.

- Área de absorción equivalente, A : Se define como el área de absorción acústica calculada según la fórmula de Sabine [15] en la fórmula:

$$A = \frac{0,16 V}{T} \quad \text{Ecuación 1-5}$$

Siendo V el volumen del recinto receptor expresado en metros cúbicos y T el tiempo de reverberación del mismo recinto expresado en segundos.

En cuanto al procedimiento de la medición, la norma permite tres métodos válidos para la adquisición de los niveles de presión sonora:

- Técnica de posiciones de micrófono fijas: Consiste en la adquisición de datos mediante micrófonos situados en un trípode de manera fija, con o sin supervisión de un operador, en un determinado número de posiciones para cada posición del altavoz.
- Técnica de movimiento continuo mecanizado de micrófono: Esta técnica presenta un mayor grado de complejidad ya que consiste en adquirir las medidas mediante un micrófono que siga un movimiento circular con una velocidad angular constante, o que siga un barrido de manera mecánica que presente una trayectoria circular donde el ángulo de rotación alrededor de un eje fijo se sitúe entre 270° y 360°.
- Técnica de barrido manual de micrófono: Esta técnica consiste en realizar de manera manual, un barrido de micrófono para la adquisición de los datos que siga una trayectoria circular, helicoidal, cilíndrica o tres semicírculos.

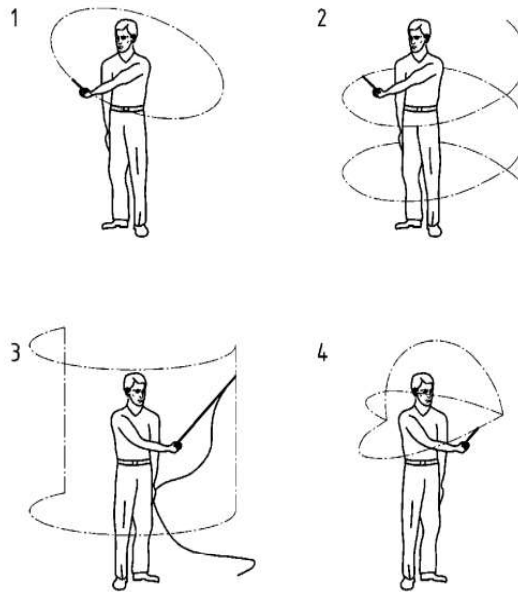


Figura 1-5. Trayectorias de barrido manual [10].

En la Figura 1-5 se pueden observar las diferentes trayectorias que se deben seguir para realizar la técnica de barrido manual de micrófono, siendo la técnica 1 la trayectoria circular, la técnica 2 la trayectoria helicoidal, la técnica 3 la trayectoria cilíndrica y la técnica 4 la trayectoria de tres semicírculos.

Para estos tres métodos de adquisición de datos, la norma presenta directrices concretas sobre el número de mediciones a realizar, distancias mínimas para cada posición de micrófono, tiempos de promediado y cálculo de los niveles de presión acústica promediados energéticamente.

Dentro de los tres métodos, el más usado por su sencillez y por su bajo coste es el método de posiciones de micrófono fijas, por el cual se va a decantar la elaboración del presente proyecto.

La norma expone también el equipamiento necesario para llevar a cabo un ensayo según sus directrices. Entre esta instrumentación se encuentra:

- **Altavoz omnidireccional.** Necesario para la generación de ruido estacionario, como puede ser el ruido rosa. El diagrama de bloques básico de un altavoz está compuesto por un amplificador de potencia seguido por un transductor electromecánico que precede a un transductor mecánico-acústico, con el objetivo de transformar una señal eléctrica en una señal física como es el sonido.

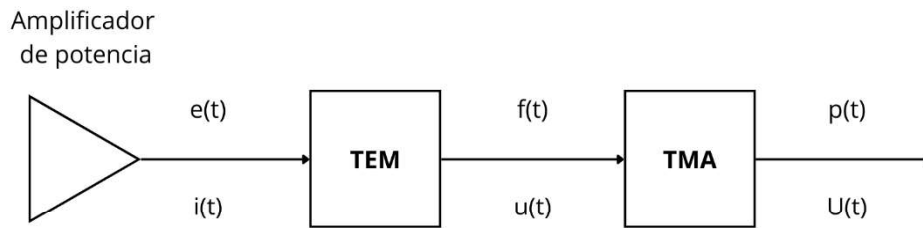


Figura 1-6. Diagrama de bloques de un altavoz.

Algunos altavoces a nivel comercial que cumplen con las exigencias de la UNE-EN ISO 16283-1 son el DS3 Dodecahedron Speaker de NTi Audio, el Nor283 Omnidirectional Sound Source de Norsonic, el OmniPower Sound Source Type 4292-L de Brüel & Kjær o el OMNI 4" HP Omnidirectional Sound Source.

- Micrófono de Clase 1 según la norma UNE-EN IEC 61672-1 [16]. Una de las características de los equipos considerados Clase 1, es que deben tener una respuesta lo más neutra posible, lo que en la práctica se traduce en comportamiento omnidireccional dentro de un rango amplio de frecuencias.
- Sonómetro clase 1 certificado según UNE-EN IEC 61672-1. Recibe el nombre de sonómetro aquel instrumento destinado a medir niveles sonoros [17]. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Está formado por diferentes etapas que contribuyen a su correcto funcionamiento final, mostradas en el siguiente diagrama de bloques.

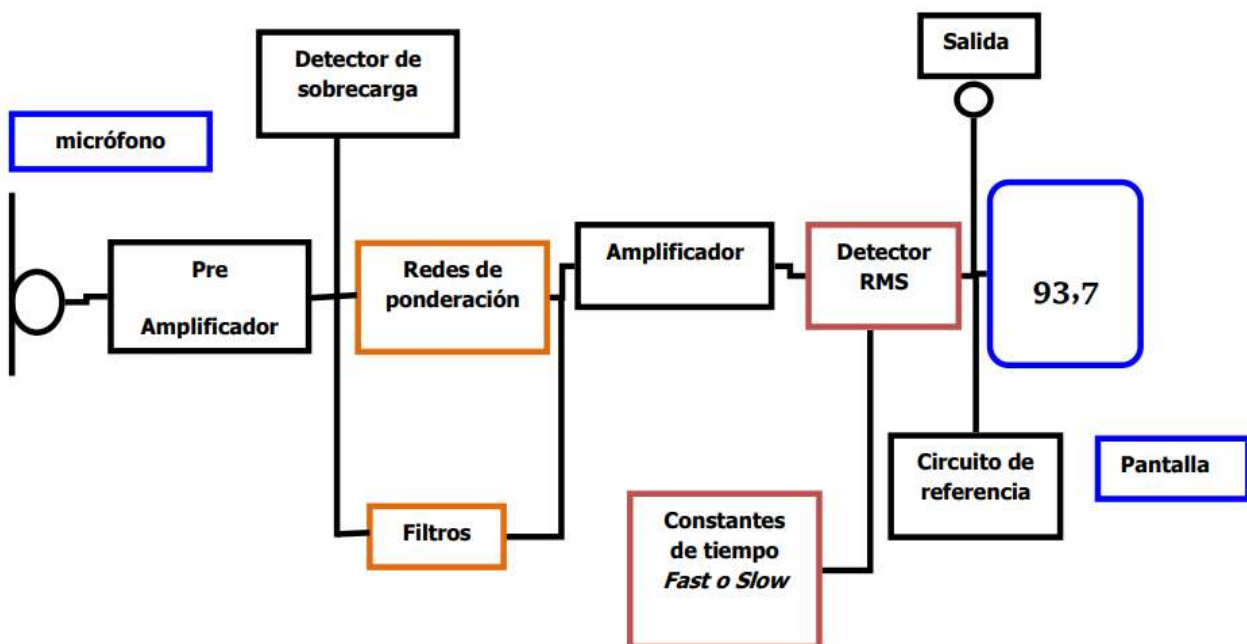


Figura 1-7. Diagrama de bloques genérico de un sonómetro[17].

La parte más importante y que determinará la calidad y precisión de los datos recogidos por el sonómetro es el micrófono, cuyas características se han descrito anteriormente.

A su vez, la UNE-EN ISO 16283-1 se apoya en otras normas relacionadas que complementan su aplicación, como pueden ser:

- UNE-EN ISO 717-1: A partir de ella se obtienen los métodos de cálculo de índices como el $D_{nT,w}$ que es un índice único ponderado que resume el aislamiento acústico del elemento o conjunto de elementos entre recintos, y de los términos de adaptación espectral C y C_{tr} , que permiten ajustar el valor a distintos espectros de ruido (ruido rosa, ruido de tráfico, etc. De esta norma se obtienen las plantillas de presentación de resultados para las mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.
- UNE-EN ISO 12999-1: Describe cómo estimar la incertidumbre de medida en los ensayos in situ.
- UNE-EN ISO 61260-1: Detalla los requisitos para los filtros de análisis por bandas frecuenciales[18].
- UNE-EN ISO 3382-2: Empleada para la medición del tiempo de reverberación en el ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo.
- UNE-EN ISO 60942: Hace referencia a la precisión de los calibradores acústicos empleados para la verificación de los equipos [19].

A parte del equipamiento técnico necesario para llevar a cabo un ensayo de este tipo, se requiere a su vez de un amplio conocimiento de las normativas y procedimientos asociados al ensayo. Por otra parte, el coste elevado de los equipos profesionales, como los sonómetros clase 1 y fuentes omnidireccionales, unido a la complejidad técnica del proceso, puede suponer una barrera para estudiantes o técnicos en formación.

Por ello, se hace evidente la necesidad de contar con herramientas más accesibles y didácticas que permitan simular y comprender el proceso sin necesidad de cumplir todos los requisitos normativos.

1.5 Estructura del resto de la memoria

La estructura de la memoria presenta los siguientes capítulos:

- Introducción. Se presenta el contexto teórico del proyecto, abordando conceptos fundamentales para la comprensión de este como la definición del ruido, sus efectos nocivos, así como la necesidad de realizar mediciones acústicas para cuantificarlo. Se introduce el concepto de aislamiento acústico y se justifica la necesidad de desarrollar herramientas para su evaluación.
- Estado del arte. Se analiza el procedimiento actual utilizado para la realización de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos conforme a la norma en la que se basa el desarrollo del proyecto. También se revisan herramientas existentes en

el mercado para la evaluación de este tipo de ensayos, evaluando sus limitaciones y grado de accesibilidad.

- **Objetivos del proyecto.** Se definen de forma clara y concisa los objetivos generales y específicos del proyecto, tanto a nivel técnico como académico.
- **Especificaciones y restricciones de diseño.** Se establecen los requisitos clave que debe cumplir la herramienta, así como las restricciones a nivel técnico, económico y operativo que condicionan el diseño e implementación de la misma.
- **Descripción del sistema propuesto.** Se detalla el diseño del sistema, comenzando con la descripción del hardware seleccionado, seguido de una breve explicación del lenguaje de programación empleado para su desarrollo. Además, se entra en detalle de los pasos requeridos por la norma para la realización del tipo de ensayo deseado y cómo se implementan en el software desarrollado.
- **Resultados.** Se muestran los resultados obtenidos tras la ejecución de la herramienta, incluyendo capturas de pantalla, gráficos y tablas que muestren los cálculos realizados, así como una valoración del funcionamiento general del sistema respecto a los objetivos propuestos.
- **Conclusiones y líneas futuras.** Se presenta una síntesis de los logros alcanzados, se evalúa el cumplimiento de los objetivos y se plantean posibles mejoras o ampliaciones del sistema para versiones futuras.
- **Bibliografía.** Se enumeran las fuentes normativas, técnicas y bibliográficas consultadas a lo largo del desarrollo del proyecto.
- **Presupuesto.** Se recoge el coste estimado del desarrollo del sistema, desglosando los componentes hardware y software necesarios para su implementación.
- **Anexo: Manual de usuario.** Se proporciona una guía práctica del uso de la herramienta dirigida al usuario final, en la que se explica de forma clara e intuitiva como llevar a cabo el ensayo completo mediante el uso de la herramienta desarrollada.

2 ESTADO DEL ARTE

Se ha realizado un estudio de las herramientas actuales y se muestra un resumen de algunas de ellas.

En la actualidad, existen diversas herramientas para la evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo a partir de mediciones in situ. La mayoría de ellas presentan soluciones integradas formadas tanto por el software de análisis como por el hardware específico necesario para las mediciones y procesamiento. Algunas de estas soluciones vienen de parte de NTi Audio XL3 con Sound Insulation Reporter [20], CESVA Measuring Assistant [21], Svantek Building Acoustics PRO [22], dBTrait de ACOEM [23] o Dirac de Brüel & Kjær **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Estas herramientas permiten realizar mediciones y análisis conforme a la norma UNE-EN ISO 16283-1, y muchas de ellas calculan diversos índices como $D_{nT,w}(C, C_{tr})$, o son capaces de generar, de manera parcial o total, informes normalizados de forma automática.

Estas soluciones presentan una gran precisión, alta compatibilidad con la normativa actual y sobre todo, están orientadas para un uso profesional. No obstante, el elevado coste de estas herramientas supone un problema a la hora de su adquisición, ya que en muchas de las opciones es necesario adquirir hardware especializado del fabricante (como sonómetros o analizadores específicos). En otras ocasiones simplemente el coste del software consta de un elevado precio o de una licencia temporal costosa.

2.1 Building Acoustics PRO App

Aplicación gratuita desarrollada por Svantek diseñada para usarse junto a los sonómetros de Clase 1 de su propia marca conectados via Bluetooth, como el SV 971A o el SV 977D. Permite realizar, revisar y gestionar el proceso de medición de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo según la norma UNE-EN ISO 16238-1 y otras

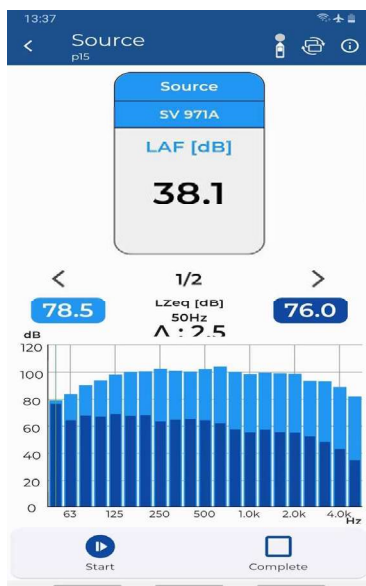


Figura 2-1. Captura de pantalla de la aplicación Building Acoustics PRO App ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

2.2 Sound Insulation Reporter

Se trata de un software profesional de análisis de datos desarrollado por NTi audio y diseñado para trabajar con datos obtenidos mediante los sonómetros de su marca NTi Audio XL2 y XL3. Su función principal es la de obtener los índices y resultados necesarios para un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo a partir de mediciones *in situ*.

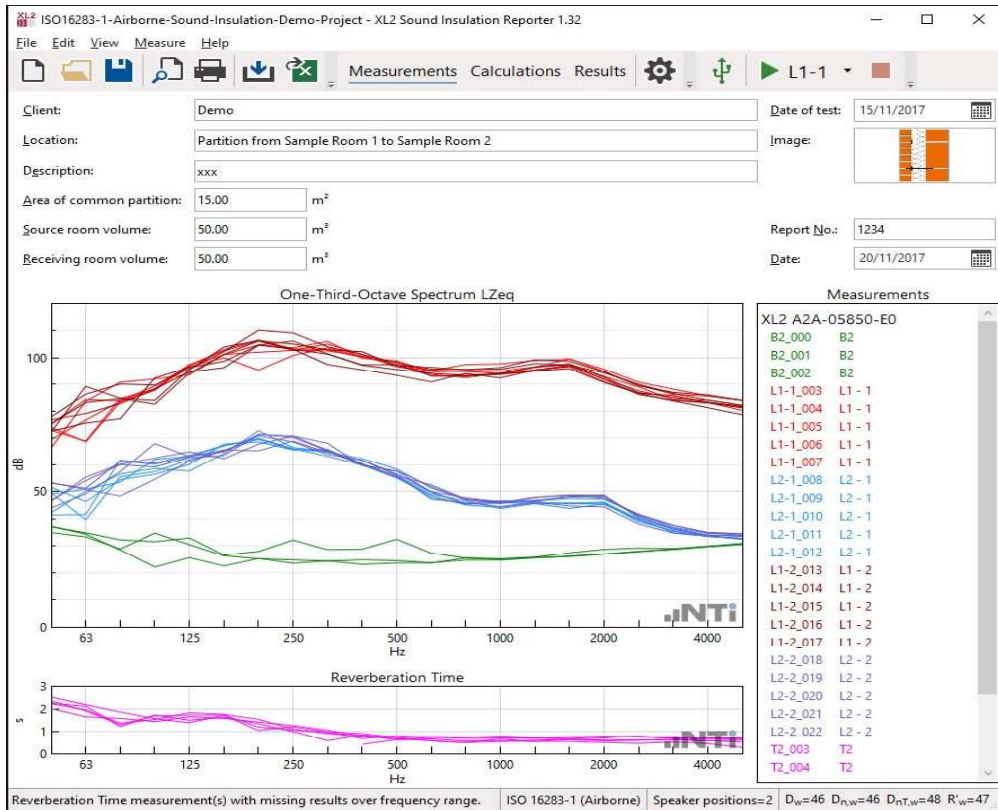


Figura 2-2. Captura de pantalla del software Sound Insulation Reporter [20].

2.3 CESVA Measuring Assistant

Es un software profesional desarrollado por CESVA Instruments, diseñado para asistir en el desarrollo de mediciones acústicas según diferentes normativas, como puede ser la medición de aislamiento acústico a ruido aéreo según la norma UNE-EN ISO 16283-1. Este software está pensado para utilizarse con el sonómetro CESVA SC420.



Figura 2-3. Software CESVA Measuring Assistant [21].

2.4 DBTRAIT

Se trata de un software desarrollado por ACOEM, diseñado para el análisis, visualización y tratamiento de datos acústicos obtenidos por equipos de la misma marca, como pueden ser sonómetros como Fusion, Orion o Cube. Está enfocado a un uso por parte de usuarios profesionales en el ámbito de la acústica y su obtención no es gratuita, sino que, aparte de necesitar el hardware específico, se necesita una licencia para el uso del software.

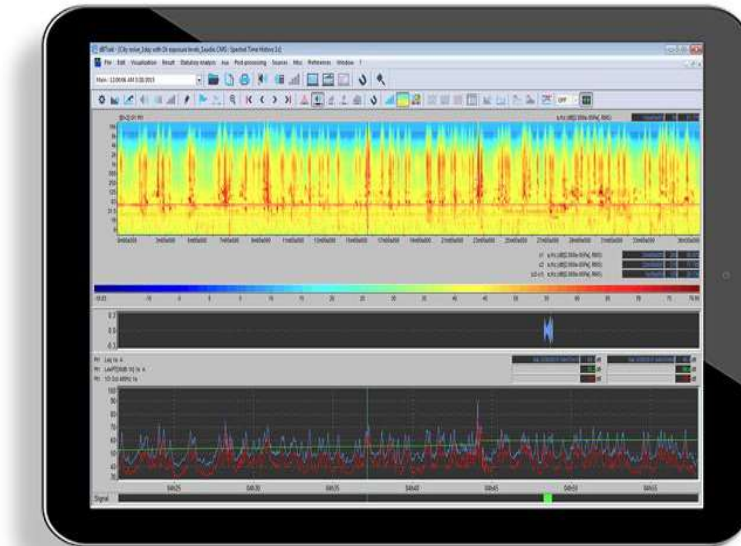


Figura 2-4. Software dBTRAIT [23].

2.5 DIRAC

Es un software profesional desarrollado por Brüel & Kjær, destinado a la evaluación de parámetros acústicos conforme a diferentes normativas internacionales. No está específicamente diseñado para la norma UNE-EN ISO 16283-1 pero el entorno de análisis de datos que propone es perfectamente válido para obtener los resultados exigidos por la norma. Requiere del uso de hardware de la propia marca como puede ser el sonómetro HBK 2255 y el precio de la licencia para el uso del software es bastante elevado.

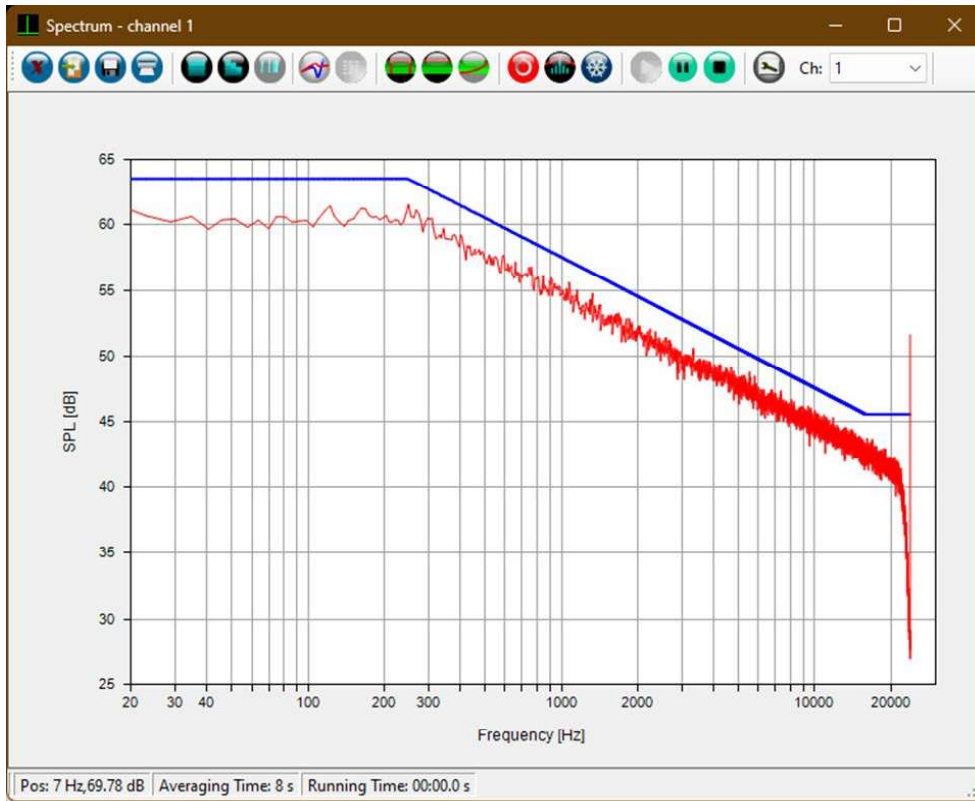


Figura 2-5. Captura de pantalla del software Dirac ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Tabla 2-1. Características de las soluciones comerciales actuales

Solución	Fabricante	Precio del software	Equipo Especializado	Precio aproximado del equipo
Building Acoustics PRO App	Svantek	Incluido con el equipo	SVANTEK SV 977D o SV 971A	1.970€ -2.460€
Sound Insulation Reporter	NTi Audio	Incluido con el equipo	NTi Audio XL2/XL3	2.800€
CESVA Measuring Assistant	CESVA Instruments	Incluido con el equipo	CESVA SC420	3.000€
dBTrait	ACOEM (01dB)	Licencia de precio elevado	Equipos 01dB	5.000€–10.000€
Dirac	Brüel & Kjær	Licencia de precio elevado	HBK 2255	10.000€

Estas soluciones están destinadas al cumplimiento de la normativa, por lo que, además del elevado coste, en muchas ocasiones requieren un alto conocimiento de los procedimientos detallados en la norma y experiencia previa con el equipo a manejar. Por esta razón, la mayoría de estas soluciones no resultan intuitivas ni recomendables en un proceso formativo. Debido a esto se justifica la creación de una herramienta cuyo objetivo no sea solo la obtención de los resultados, sino la comprensión de cada fase de la etapa de medición, procesamiento y exposición de los resultados, aprendiendo el procedimiento, la lógica de la norma y el significado de los parámetros involucrados.

3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos de este proyecto, desde el punto de vista técnico son los siguientes:

- Diseño e implementación una herramienta software interactiva para la realización de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.

El objetivo principal es desarrollar una herramienta que asista al usuario durante todas las fases del procedimiento habitual de un ensayo conforme a la norma UNE-EN ISO 16283-1. A su vez, esta herramienta facilita el aprendizaje y comprensión del procedimiento normativo, automatizando parcialmente gran parte del proceso y guiando al usuario.

- Adaptación del sistema a equipamiento de bajo coste.

Se pretende que la herramienta sea funcional con micrófonos y sistemas de adquisición de datos económicos, sin necesidad de sonómetros o equipamiento profesional de alto coste. Esto hace que el acceso a la formación de este proceso de medida sea más fácil y asequible para los usuarios, salvando la gran barrera económica que suponen los equipos profesionales compatibles con el proceso normativo.

- Implementación de funcionalidades de cálculo normativo y visualización gráfica y numérica de los resultados.

La herramienta integra el análisis en bandas de tercio de octava, calcula automáticamente índices requeridos por la norma y derivados de ella, y representa los resultados de forma numérica y gráfica, todo dentro de una interfaz visual y clara para el usuario.

- Comparativa y análisis de las soluciones comerciales existentes.

Se ha llevado a cabo un estudio de las principales soluciones comerciales existentes para identificar sus principales ventajas y limitaciones. Este análisis ha servido de base para implementar características diferenciadas en el sistema diseñado orientadas a la formación del usuario y a su mejor comprensión de los conceptos y procedimientos de la norma.

- Fomento de la comprensión práctica de los conceptos teóricos de la normativa relacionados con la acústica arquitectónica.

Mediante el uso de esta herramienta, se busca reforzar la relación entre los fundamentos teóricos presentes en la normativa y su aplicación práctica en un entorno real.

Desde el punto de vista académico, este proyecto permite a su desarrollador adquirir las siguientes competencias y habilidades:

- Aplicación de la normativa técnica a entornos reales.

La herramienta se basa en el cumplimiento de la norma UNE-EN ISO 16283-1 y la aplicación de otras normas relacionadas con ella, como la UNE-EN ISO 717-1 o la UNE-EN ISO 3382-2, permitiendo interiorizar su estructura, métodos, fórmulas, conceptos y procedimientos, facilitando su interpretación y aplicación práctica.

- Capacidad de diseño de interfaces amigables orientadas al usuario.

En el diseño de esta herramienta se hace fundamental la adquisición y el desarrollo de habilidades a la hora de implementar interfaces destinadas al usuario que sean funcionales y amigables para el uso por el mismo, concretamente en el entorno de desarrollo ofrecido por LabVIEW™.

- Desarrollo de habilidades de integración hardware-software.

El presente proyecto requiere de manejo de micrófonos y sistemas de adquisición de datos, integrando estos elementos con el software de desarrollo propio.

- Comprensión crítica del mercado de soluciones en el ámbito de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.

A través del análisis de las distintas soluciones comerciales existentes, se desarrolla la capacidad crítica para valorar las soluciones existentes, entender sus costes, limitaciones y funcionalidades, con el fin de proponer alternativas viables con un enfoque formativo.

En resumen, este proyecto presenta el desarrollo de una solución tecnológica totalmente válida para llevar a cabo todo el proceso de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo. A su vez, destaca por su fácil funcionamiento con equipos de bajo coste, diferenciándolo de las soluciones comerciales actuales. La herramienta es de uso intuitivo y guiado, lo que le hace ideal para un uso formativo, facilitando el acceso al conocimiento práctico sobre el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos y permitiendo el entrenamiento en condiciones cercanas a las de un ensayo a nivel profesional.

4 ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES DE DISEÑO

En el desarrollo del presente proyecto se han establecido una serie de especificaciones funcionales y se han identificado ciertas restricciones clave que han condicionado el diseño. Estas condiciones son fundamentales para asegurar que la herramienta desarrollada sea viable, efectiva y se adecue a los objetivos marcados que el proyecto debe satisfacer. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes:

- Cumplimiento normativo.

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de una herramienta que permita la realización de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, conforme a los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO 16283-1:2014. Esto implica que el procedimiento de medición, los cálculos llevados a cabo por la herramienta y la presentación de los resultados deben estar perfectamente alineados con los estipulado en la norma. Esta herramienta garantiza resultados totalmente certificados por la norma en cuestión, en caso de emplear equipamiento calibrado y acorde con los requisitos para instrumentos de clase 1, de acuerdo con la Norma UNE-EN IEC 61672-1.

- Restricciones en el equipo utilizado.

Una de las limitaciones más importantes del proyecto es la utilización exclusiva de hardware de bajo coste. El equipamiento se basa en:

- Un micrófono omnidireccional.
- Una interfaz de audio externa.
- Un ordenador personal.

Esta decisión reduce considerablemente los costes del sistema, haciéndolo accesible tanto para estudiantes como para usuarios en formación.

- Interfaz gráfica intuitiva.

Una restricción fundamental ha sido el desarrollo de una interfaz amigable, visual e intuitiva, que facilite la comprensión del procedimiento normativo, guíe al usuario en los diferentes pasos y presente los resultados de manera clara, tanto en formato gráfico como numérico.

- Modularidad y escalabilidad.

El diseño de la herramienta está basado en una arquitectura modular que permite tanto un fácil mantenimiento como una sencilla ampliación en líneas futuras. Aunque esta primera versión está orientada a ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo, es ampliable a otro tipo de ensayos acústicos, como los ensayos de aislamiento a ruido de impacto o de fachadas. Todo ello sin necesidad de rediseñar por completo la estructura del software.

- Registro y exportación de datos.

Todos los datos adquiridos y procesado durante los ensayos son almacenados, permitiendo su análisis en diferido. Esta funcionalidad posibilita la reutilización de dichos datos en tareas formativas o comparativas.

- Compatibilidad y distribución.

La herramienta ha sido desarrollada en LabVIEW™ lo que garantiza su compatibilidad total con Windows, y con otros sistemas operativos como macOS o Linux. El proyecto incluye la generación de un instalador ejecutable, permitiendo la distribución del software sin necesidad de disponer del entorno de desarrollo del LabVIEW, lo que amplía su facilidad de empleo.

5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

5.1 Descripción del hardware utilizado (micro e interfaz).

5.1.1 Micrófono DBX DriveRack RTA-M

Se trata de un micrófono de condensador de tipo “electret” [25]. Al ser un micrófono de tipo electrostático, su transductor consiste en un condensador formado por dos membranas, una de ellas fija (la posterior) y otra separada de la primera por una capa de aire. Cuando la membrana superior se desplaza como consecuencia de la incidencia de las ondas sonoras, la distancia entre ambas se reduce, variando la capacidad del condensador y, por lo tanto, la tensión. El condensador necesita de alimentación externa. Este tipo de micrófonos necesitan la presencia de un preamplificador que ayuda en la adaptación de impedancias y en el nivel de la señal.

En el caso del micrófono elegido, se trata de un micrófono de tipo “electret”. Estos micrófonos son una variante de los micrófonos de condensador que utilizan un electrodo. Además, sus placas se polarizan durante la fabricación, lo que hace que el condensador no requiera de alimentación, sin embargo, el preamplificador sí que la necesita. Este tipo de micrófonos se caracterizan por ser robustos y de tamaño reducido, presentando una extensa durabilidad.

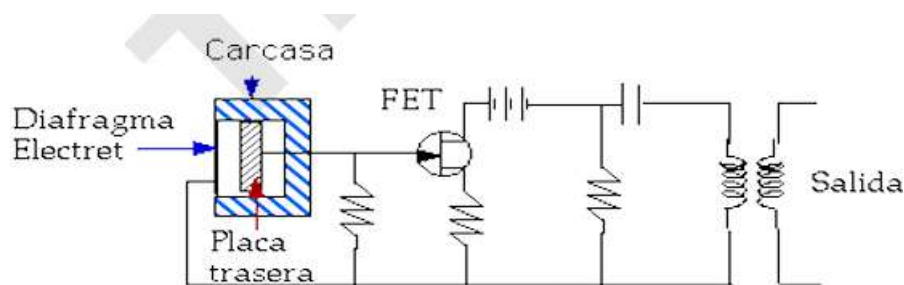


Figura 5-1. Diagrama de bloques de un micrófono de tipo “electret” [25].

Según el datasheet del micrófono [26], este presenta una respuesta en frecuencia plana entre los 20 Hz y los 20 kHz.

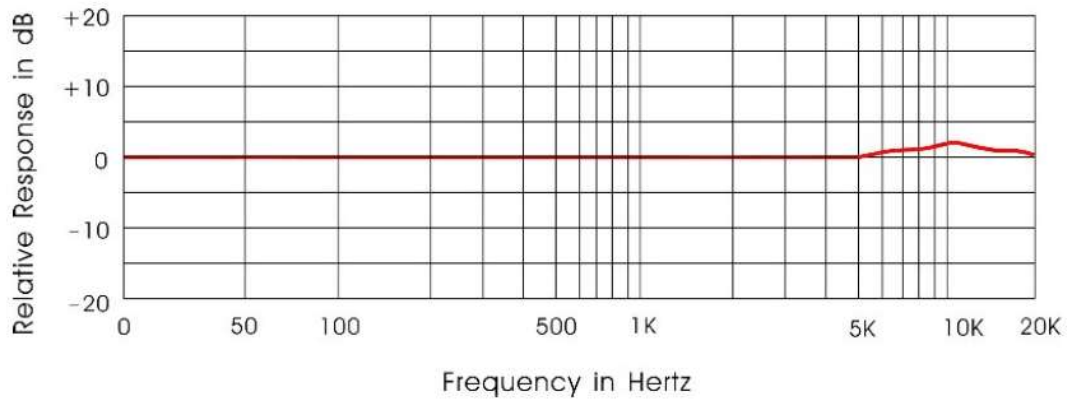


Figura 5-2. Respuesta en frecuencia del micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].

La impedancia de salida del micrófono, que se define como la capacidad para limitar el paso de la corriente, es de $250 \Omega \pm 30\%$ medida sobre una frecuencia de 1kHz. La alimentación externa de tipo Phantom que requiere este micrófono es de 9-52 V. El valor de sensibilidad, que se define como la relación entre la tensión eléctrica generada y la presión acústica incidente, medida en circuito abierto, en campo libre y a 1kHz, es de $-63 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$. Por último, el patrón polar de este micrófono es omnidireccional, como se puede observar en la siguiente figura.

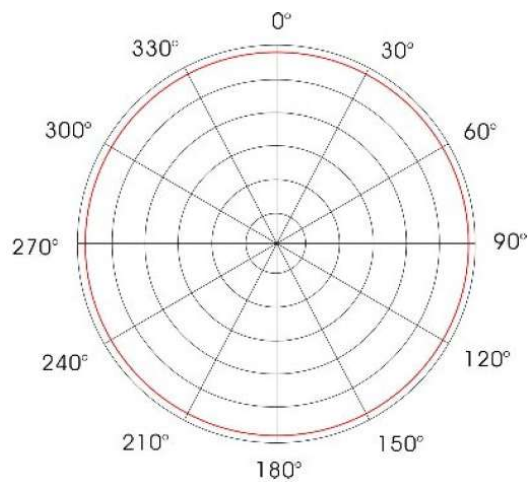


Figura 5-3. Patrón polar del micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].



Figura 5-4. Micrófono DBX DriveRack RTA-M [26].

Este micrófono se ha seleccionado para la realización del presente proyecto debido a varias características, entre ellas la respuesta plana que presenta en todo el rango auditivo de frecuencias. Otra característica clave es su patrón polar omnidireccional. Estas dos características combinadas lo convierten en una opción de bajo coste adecuada para la captación de señales acústicas conforme a los requisitos de la norma UNE-EN ISO 16283-1, sin necesidad de recurrir a equipos certificados de clase 1 de elevado coste.

5.1.2 Interfaz de audio Focusrite Scarlett 18i8 3th Generation

Se trata de una interfaz de audio orientada a proyectos de audio digital. Es un dispositivo compatible con sistemas operativos Windows y macOS. Este dispositivo actúa como puente entre el dominio analógico (sistemas de adquisición de datos como micrófonos) y el digital (ordenador y software de análisis). En este proyecto se emplea como sistema de adquisición de datos acústicos en conjunto con el micrófono anteriormente descrito y la herramienta desarrollada en LabVIEW™.

La elección de esta interfaz se justifica por su bajo coste y el conjunto de las siguientes características principales:

- Resolución máxima de 24 bits y máxima frecuencia de muestreo de 192kHz. Esto asegura una alta fidelidad en la captura y reproducción del sonido.
- Rango dinámico de 120 dB, que garantiza una excelente relación señal/ruido.
- Alimentación Phantom de +48V, necesaria para micrófonos de condensador como el empleado en este proyecto.
- Compatibilidad con sistemas operativos Windows. Este sistema operativo es el utilizado para el desarrollo de la herramienta. Presenta, además, compatibilidad adicional con otros sistemas operativos como macOS y Linux.
- Dimensiones y peso reducido, lo que facilita su transporte a la hora de realizar ensayos.



Figura 5-5. Interfaz de audio Focusrite Scarlett 18i8 3th Generation [27].

5.2 Breve descripción del lenguaje de programación.

El desarrollo del presente proyecto se ha llevado a cabo empleando LabVIEW [28], un lenguaje de programación gráfico de alto nivel desarrollado por National Instruments. Este entorno se caracteriza por su enfoque visual, que permite crear aplicaciones conectando bloques funcionales en un diagrama de bloques, lo cual facilita tanto el diseño como la comprensión de los sistemas creados con este lenguaje. Así mismo, destaca por su capacidad para integrar hardware y software, lo que lo convierte en un lenguaje muy utilizado en entornos de instrumentación, adquisición de datos, procesamiento de señales y control automatizado de sistemas, haciéndolo una herramienta ideal para el desarrollo del presente proyecto.

5.2.1 Características principales.

Entre las características que hacen a LabVIEW™ un entorno de desarrollo adecuado para el desarrollo de este proyecto, se encuentran:

- Programación gráfica. Permite el diseño de algoritmos de forma intuitiva y sencilla mediante bloques funcionales conectados, lo que facilita la creación de sistemas más complejos y hace que su comprensión sea más sencilla.
- Integración con hardware. LabVIEW™ es compatible con una gran variedad de dispositivos de adquisición de datos, sensores y tarjetas de sonido, lo que es especialmente útil en el desarrollo de este proyecto, que emplea una interfaz de audio y un micrófono de bajo coste.
- Entorno modular y jerárquico. Cada aplicación desarrollada se estructura en elementos denominados VIs (Virtual Instruments), que pueden actuar como funciones auxiliares (SubVIs) dentro de una aplicación más compleja, lo que permite la reutilización de código y mantiene una arquitectura clara y comprensible.
- Multiplataforma. Aunque el proyecto está orientado a su uso en sistemas operativos Windows (por compatibilidad de drivers y componentes del sistema), LabVIEW™ dispone de versiones compatibles con Linux y con MacOS.
- Capacidad de integración con otros lenguajes. Es posible integrar código desarrollado en C, Python y otros lenguajes, lo que permite aprovechar bibliotecas existentes para ampliar la funcionalidad de la herramienta en escenarios futuros.

5.2.2 Entorno de trabajo.

El entorno de trabajo de LabVIEW™ se divide en dos componentes principales:

- Front Panel (Panel Frontal): Es la interfaz gráfica que ve el usuario. En esta pantalla se colocan los elementos que actúan como entradas (como botones, sliders, menús...) y de salida (como gráficos, indicadores numéricos, LEDs, ...).
- Block Diagram (Diagrama de Bloques): Es el área donde se construye la lógica del programa, mediante bloques funcionales conectados entre sí. Incluye estructuras de control, funciones, SubVIs, bloques de gestión de errores y cables.

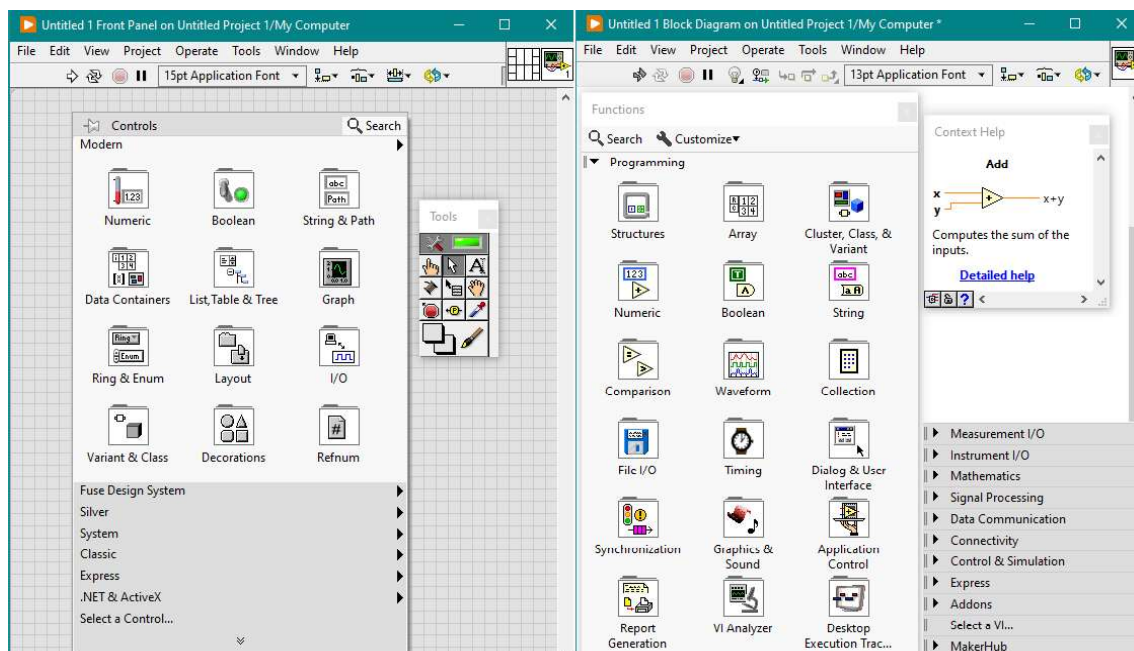


Figura 5-6. Front Panel y Block Diagram.

5.2.3 Estructura y estilo de programación.

En este proyecto se emplean las siguientes estructuras y herramientas que proporciona LabVIEW™ para el diseño de la herramienta deseada:

- While Loop: Esta estructura permite ejecutar el código que contiene de forma iterativa hasta que se cumpla la condición de parada del bucle.

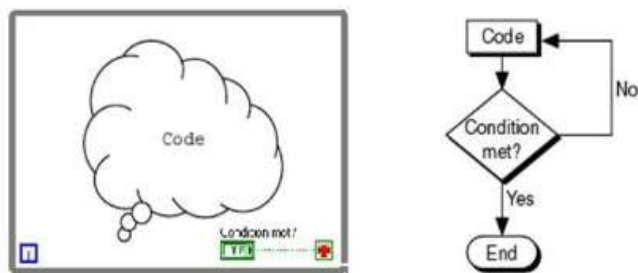


Figura 5-7. Bucle While en LabVIEW™ [29].

- Case Structure: Esta estructura contiene varios casos con diferente código dentro de ella, de los cuales solo uno de ellos se ejecuta en cada iteración, dependiendo de la evaluación realizada sobre el contenido del terminal de entrada a la estructura, el cual determina el caso a ejecutar.

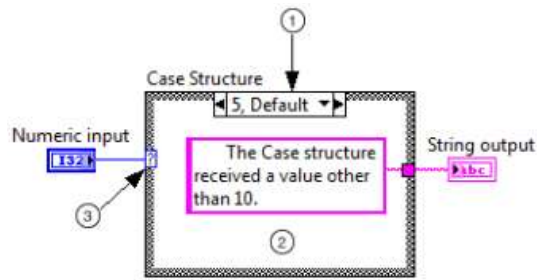


Figura 5-8. Estructura Case en LabVIEW™[30].

- Máquina de estados: Es una estructura de programación que permite organizar el flujo del sistema dividiéndolo en diferentes estados lógicos, donde cada uno representa una etapa concreta del proceso que debe seguir la herramienta para llevar a cabo su correcto funcionamiento, desde el proceso de adquisición de datos, hasta la presentación de los resultados, pasando por todas las fases intermedias. En LabVIEW™ esta estructura se implementa combinando la acción de otras estructuras como el bucle While, la estructura Case (vistas anteriormente), el Shift Register (cuya función es almacenar y transferir el estado actual entre iteraciones) y el Typedef Enum (que define los diferentes estados posibles). Esta estructura permite un control eficiente del sistema, aportando flexibilidad, claridad y escalabilidad para poder adaptarse mejor a modificaciones o ampliaciones futuras.
- SubVIs: Se trata de un subprograma modular que contiene parte del código necesario en el programa principal, similar a una función en otros lenguajes de programación.
- Indicadores y gráficos: Estos se configuran en el panel frontal para observar las señales y resultados de ejecutar las diferentes partes del código de manera numérica y gráfica.

5.2.4 Buenas prácticas de programación en LabVIEW™.

Con el objetivo de conseguir un diseño claro, legible y eficiente se siguen las siguientes directrices para una buena práctica de programación en LabVIEW™:

- Uso de patrones de diseño conocidos. Implementación de un diseño claro, legible y con una lógica sencilla de entender.
- Interfaz de usuario, amigable, basada en la organización y sencillez.
- Creación de SubVIs con los fragmentos de código que se repitan a lo largo del proyecto, con el fin de reutilizarlos, reduciendo la complejidad y facilitando el mantenimiento del sistema.
- Gestión de errores con el fin de tratarlos y resolverlos durante la ejecución del programa.

- Implementación de comentarios descriptivos de cada etapa de los procesos del sistema.

5.3 Descripción del proceso de medición, análisis y presentación de los resultados

5.3.1 Procedimiento detallado de medida

Para conseguir el objetivo de asistir en el proceso completo de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, el presente proyecto ha de ajustarse a las directrices exigidas por la norma UNE-EN ISO 16283-1.

La primera parte consiste en definir cuál de los tres métodos descritos en el apartado 1.4 de esta memoria se va a seguir a la hora de la adquisición de las medidas. Se opta por el método de las posiciones fijas de micrófono, consistente en la adquisición de las señales acústicas mediante micrófonos situados en posiciones fijas mediante un trípode. Se selecciona este método por su sencillez y el bajo coste que supone, ajustándose así a los requisitos del proyecto.

Una vez seleccionado el método de medición de las señales acústicas se procede a comenzar el ensayo., cuyas etapas se detallan a continuación.

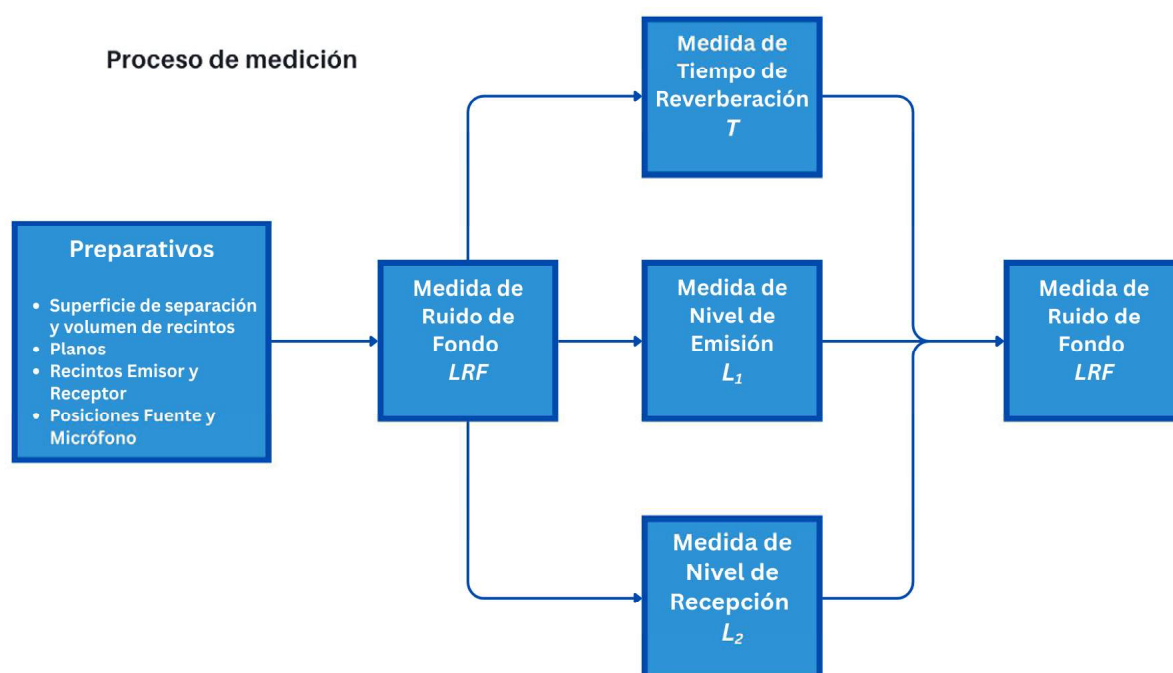


Figura 5-9. Diagrama de bloques del proceso completo de medición.

Superficie de separación y volúmenes de los recintos

Con ayuda de la cinta métrica se medirán las cotas necesarias para determinar la superficie de la muestra, el volumen de los recintos receptor y emisor.

Los volúmenes de los objetos situados en el interior de los recintos con superficies cerradas no absorbentes, tales como armarios o vestidores, se restarán del volumen total del recinto receptor.

El área de separación común entre recintos no debería verse reducida por objetos como armarios que cubran parte de la separación común.

Planos o croquis a realizar

En planos suministrados o en croquis sacados por el propio analista, se reflejará la muestra ensayada y la dirección de la medida con una flecha desde el recinto emisor al recinto receptor.

Se reflejarán también la situación de la fuente de ruido, y de cada uno de los puntos de medida elegidos en la sala receptora, y en la emisora si existe, mediante cotas a, al menos tres elementos perpendiculares

Elección de los recintos emisor y receptor

Aislamiento acústico a ruido aéreo en elementos verticales: Como norma general, se tomará como recinto emisor el de mayor volumen.

Aislamiento acústico a ruido aéreo en elementos horizontales: Como norma general, se tomará como recinto emisor el inferior.

Elección de las posiciones del micrófono y de la fuente

Las posiciones de la fuente y el micrófono respetarán las distancias mínimas, establecidas en la norma UNE-EN ISO 16283-1, y que se resumen a continuación.

- a) Posiciones de la fuente sonora
 - Al menos 0,5m entre los bordes del recinto y el centro de la fuente, y 1m cuando el límite es la muestra a evaluar.
 - Al menos 0,7m entre posiciones de fuente. Al menos dos posiciones de fuente deben encontrarse a no menos 1,4m.
 - Las diferentes posiciones de fuente no deben colocarse dentro de los planos paralelos a los límites del recinto que estén a menos de 0,7m uno del otro.
 - Al menos 1m entre la base del altavoz y el suelo cuando se mide aislamiento a ruido aéreo de un suelo con el altavoz en el recinto superior.
- b) Posiciones del micrófono
 - Mediante el uso de trípodes, se distribuirán de manera uniforme y aleatoria en las tres dimensiones del recinto receptor, evitando cuadrículas uniformes. No debe haber dos posiciones de micrófono situadas en el mismo plano respecto a los límites del recinto.
 - Al menos 0,7 m entre posiciones de micrófono.
 - Al menos 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
 - Al menos 1 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.
 - No debe haber dos posiciones de micrófono situadas en el mismo plano con respecto a los límites del recinto y las posiciones no deben ser las de una retícula regular.
 - Durante la medición el tronco del cuerpo del operador debe permanecer a una distancia de al menos un brazo desde el micrófono.
- c) Numero de mediciones

El número de posiciones fuente-micrófono y sus combinaciones, quedan reflejados a continuación:

Tabla 5-1. Combinaciones fuente-micrófono.

Posiciones fuente	Posiciones micrófono	Combinaciones fuente - micrófono
2	10	10

Ejemplos de situaciones de medida obtenidos de la norma

- Mediciones horizontales

Leyenda

- O Altavoz
- x Posición del micrófono fijo
- Δ Punto fijo sobre el que se mueve un micrófono de movimiento continuo mecanizado o la posición del operador para un micrófono de barrido manual
- Límites del recinto
- = Separación común

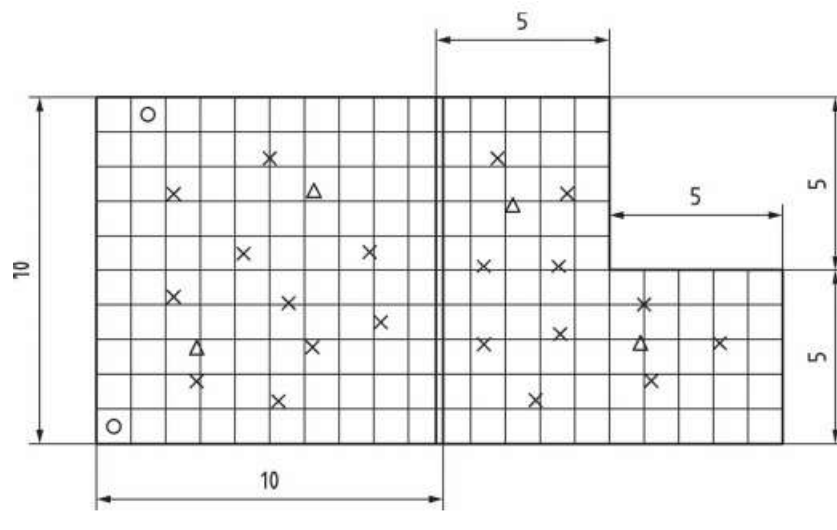


Figura 5-11. Ejemplo de medición horizontal 1 [10].

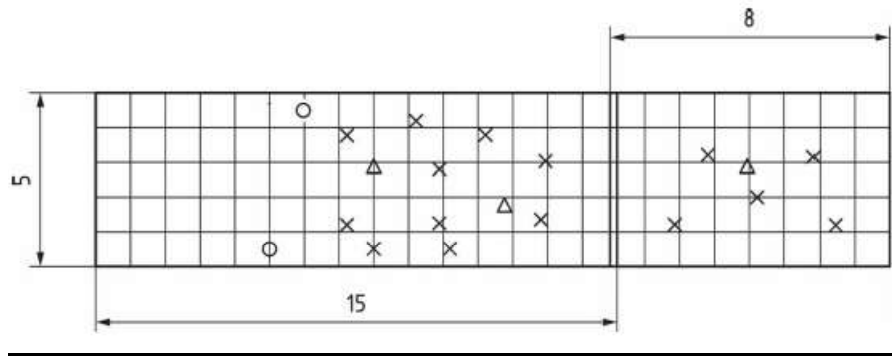


Figura 5-12. Ejemplo de medición horizontal 2 [10].

- Mediciones verticales

Leyenda

- O Altavoz
- (O) Posición alternativa de altavoz
- x Posición de micrófono fijo
- Δ Punto fijo sobre el que se mueve un micrófono de movimiento continuo mecanizado o la posición del operador para un micrófono de barrido manual
- U Recinto superior
- L Recinto inferior
- Límites del recinto
- Límites del recinto inferior con respecto al recinto superior
- = Separación común
- - - Limitación del área del suelo

Figura 5-13. Leyenda de los ejemplos de situaciones de mediciones verticales [10].

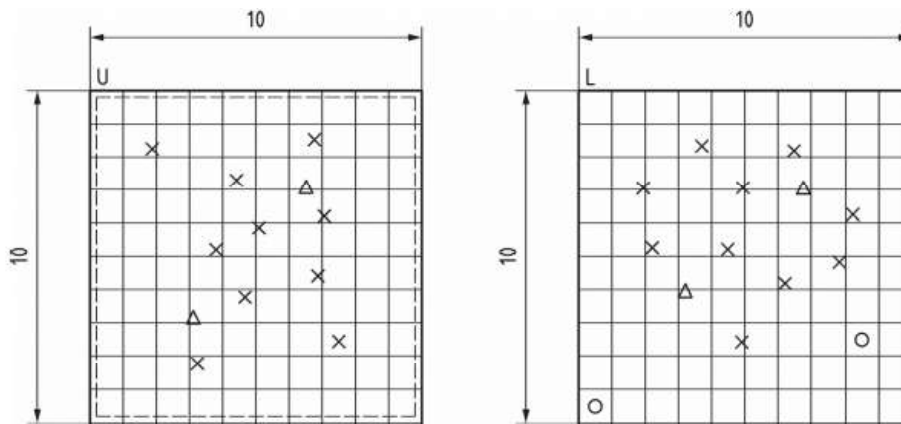


Figura 5-14. Ejemplo de medición vertical 1 [10].

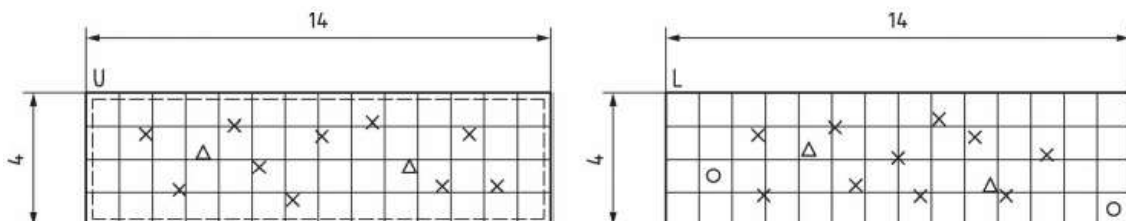


Figura 5-15. Ejemplo de medición vertical 2 [10].

Tiempo de reverberación

La medida del tiempo de reverberación del recinto receptor y la elección de sus puntos de medida se realizarán según método de ingeniería descrita en la UNE-EN ISO 3382-2 (apartados 4 y 5).

Las posiciones de micrófono para la medida del tiempo de reverberación coincidirán con todas o algunas de las seleccionadas para el registro de nivel de recepción L_2 , siempre y cuando se respeten las distancias mínimas siguientes:

Determinación de posiciones de micrófono:

- Preferiblemente 2m entre posiciones de micrófono.
- Al menos 1 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
- 1,2m respecto del suelo.

Determinación de posiciones de fuente

Para evitar una influencia fuerte del sonido directo, la distancia mínima, d_{min} , entre las posiciones de micrófono y las de la fuente generadora de ruido será (según indicaciones de UNE-EN ISO 3382-2: 2008, apartado 4).

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{343 * T_{min}}} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Siendo V el volumen de la sala receptora y T_{min} una estimación del tiempo de reverberación esperado, en segundos.

Si se desconoce el orden de magnitud de T_{min} se podrá realizar una medida de evaluación inicial del tiempo de reverberación.

Independientemente de la comprobación anterior, la distancia entre cualquier posición de micrófono y la fuente generadora de impulsos será al menos de 1m.

El método elegido para la realización de la medida del tiempo de reverberación es el método de ruido interrumpido. Esto se debe a la sencillez y el bajo coste asociado a la implementación de este método. El número de posiciones de micrófono para el método de ruido interrumpido se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5-2. Número de posiciones micrófono-fuente para la medida del tiempo de reverberación

Medida del tiempo de reverberación	
	Método de ruido interrumpido
Posiciones de la fuente	1
Posiciones de micrófono	6
Combinaciones fuente-micrófono	6
Nº de decrecimientos en cada posición	1
Nº total de registros	6

Medición Tiempo de Reverberación

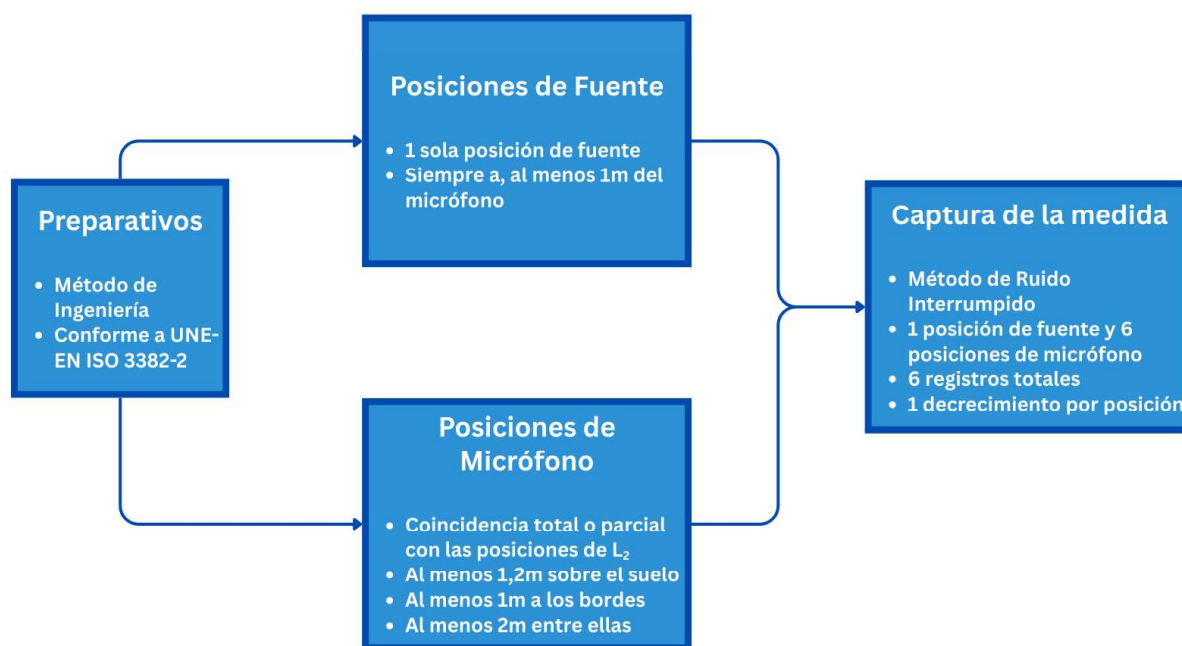


Figura 5-16. Diagrama de bloques del proceso de medición del Tiempo de Reverberación.

Ruido de fondo en sala receptora (LRF)

Se deben realizar las mediciones de los niveles del ruido de fondo para garantizar que el nivel de señal en el recinto receptor no esté afectado por el ruido de fondo y para permitir su posible corrección.

Como mínimo se registrará el ruido de fondo en dos posiciones de micrófono antes y después de cada ensayo, coincidiendo con posiciones seleccionadas para el registro del nivel de recepción (L_2). El tiempo de promediado será de 10 s.

Medición de Ruido de fondo en la sala receptora LRF

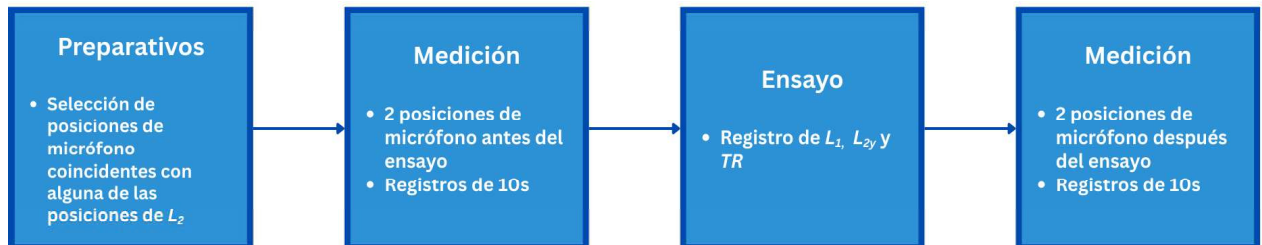


Figura 5-17. Diagrama de bloques del proceso de medición del Ruido de fondo en la sala receptora.

Nivel de emisión (L_1) y nivel de recepción (L_2)

Se realizarán registros de 10s. Se seleccionará en el amplificador un ruido de banda ancha (ruido rosa) como señal excitadora.

Para elegir el volumen del mismo se aconseja realizar una medición inicial de evaluación, situando la fuente sonora en la sala emisora y el micrófono en la sala receptora en algunas de las posiciones de micrófono elegidas. Se elevará gradualmente el volumen del amplificador hasta conseguir una diferencia entre el nivel global de recepción y el ruido de fondo superior a 6 dBA y preferiblemente superior a 10 dBA.

Durante el tiempo de promediado se obtendrá un nivel equivalente que denominaremos en cada caso " $L_{1\text{posición fuente } x, \text{posición micrófono}}$ y $L_{2\text{posición fuente } x, \text{posición micrófono}}$ " (Emisor y Receptor). Ambos niveles serán tomados sucesivamente mediante el uso de un micrófono. Se realizarán en total, al menos 10 registros en las posiciones de emisión y recepción determinadas (5 para cada una de las 2 posiciones de fuente).

Se deberá comprobar que no se producen transmisiones indirectas importantes que afecten a la medida, verificando que los niveles de presión sonora globales en el recinto receptor no aumentan significativamente en los puntos próximos a puertas, ventanas, aireadores u otros elementos susceptibles a ocasionar fugas.

El espectro sonoro en el recinto emisor no deberá tener diferencias de nivel mayores de 8 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes, (al menos por encima de 100Hz), para cada una de las posiciones de fuente.

Se realizarán los cambios de posición y equalizaciones necesarias hasta conseguir diferencias de niveles entre bandas de tercio de octava inferiores a 8 dB, por encima de 100 Hz.

Medición de Nivel de Emisión L_1

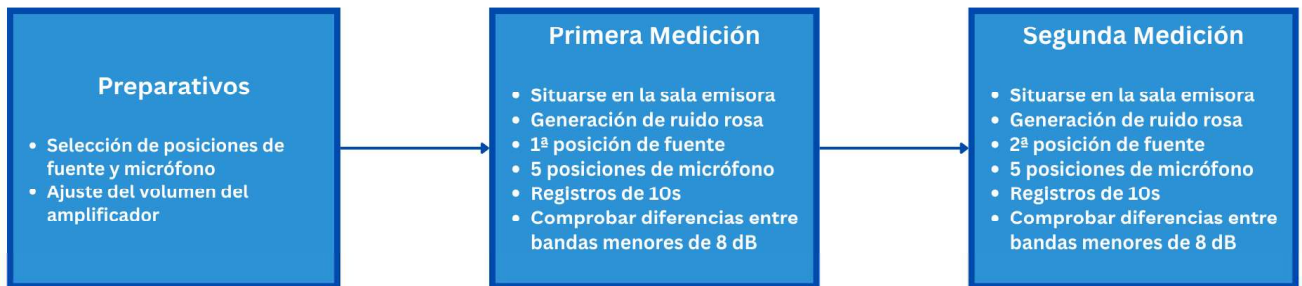


Figura 5-18. Diagrama de bloques del proceso de medición del Nivel de Emisión.

Medición de Nivel de Recepción L_2

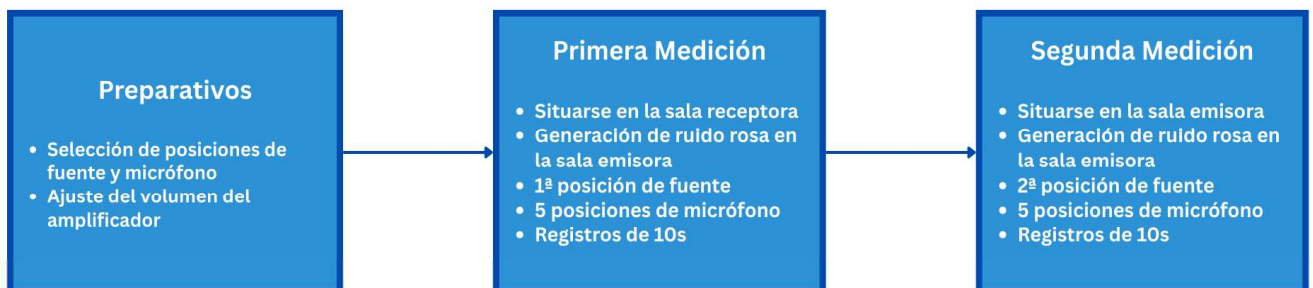


Figura 5-19. Diagrama de bloques del proceso de medición del Nivel de Recepción.

5.3.2 Análisis y cálculos a realizar por la herramienta

Tras seguir minuciosamente el procedimiento de medidas detallado en el apartado anterior, se deben haber obtenido un total de 6 medidas tiempo de reverberación (T), 4 medidas de nivel de ruido de fondo en la sala receptora (LRF), 10 medidas (5 medidas para la primera posición de la fuente y otras 5 para la segunda) de nivel de presión sonora en la sala emisora (L_1) y 10 medidas (5 medidas para la primera posición de la fuente y otras 5 para la segunda) de nivel de presión sonora en la sala receptora (L_2).

La herramienta desarrollada debe de llevar a cabo el siguiente análisis y cálculo de índices estipulados por la norma, en bandas de tercio de octava en el rango de frecuencias de 100 Hz a 5 kHz.

Obtención del valor de nivel de ruido de fondo en la sala receptora (LRF)

Una vez obtenidos los 4 registros en bandas de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz, la herramienta ha de realizar el promedio logarítmico de las cuatro medidas para cada banda según la siguiente ecuación.

$$L_{RFi} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{1}^N 10^{\frac{LAeq_i}{10}} \right)$$

Ecuación 5-2

Donde:

- i es la banda de frecuencia
- N es el número de registros (en este caso 4)

Obteniendo así el valor de *LRF*.

Cálculo de Ruido de Fondo

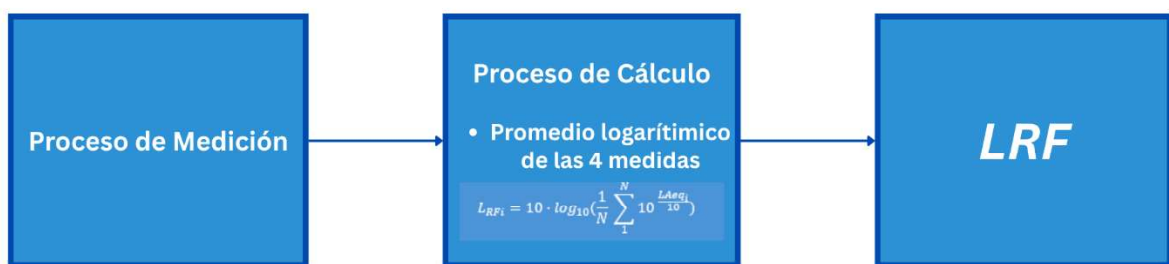


Figura 5-20.Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Ruido de fondo en la sala receptora.

Obtención del valor de nivel de presión sonora en el recinto emisor *L₁*

Una vez obtenidos los 5 primeros registros correspondientes a la primera posición de fuente, la herramienta ha de realizar el promedio logarítmico de las cinco medidas para cada banda:

$$L_{1\ p1\ fuente} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{1}^N 10^{\frac{LAeq_i}{10}} \right)$$

Ecuación 5-3

Donde:

- i es la banda de frecuencia
- N es el número de registros (en este caso 5)

La herramienta realiza exactamente el mismo procedimiento para las otras 5 medidas correspondientes a la segunda posición de fuente. Así se obtienen finalmente los valores de *L_{1 p1 fuente}* y *L_{1 p2 fuente}*.

Cálculo de Nivel de Emisión L_1

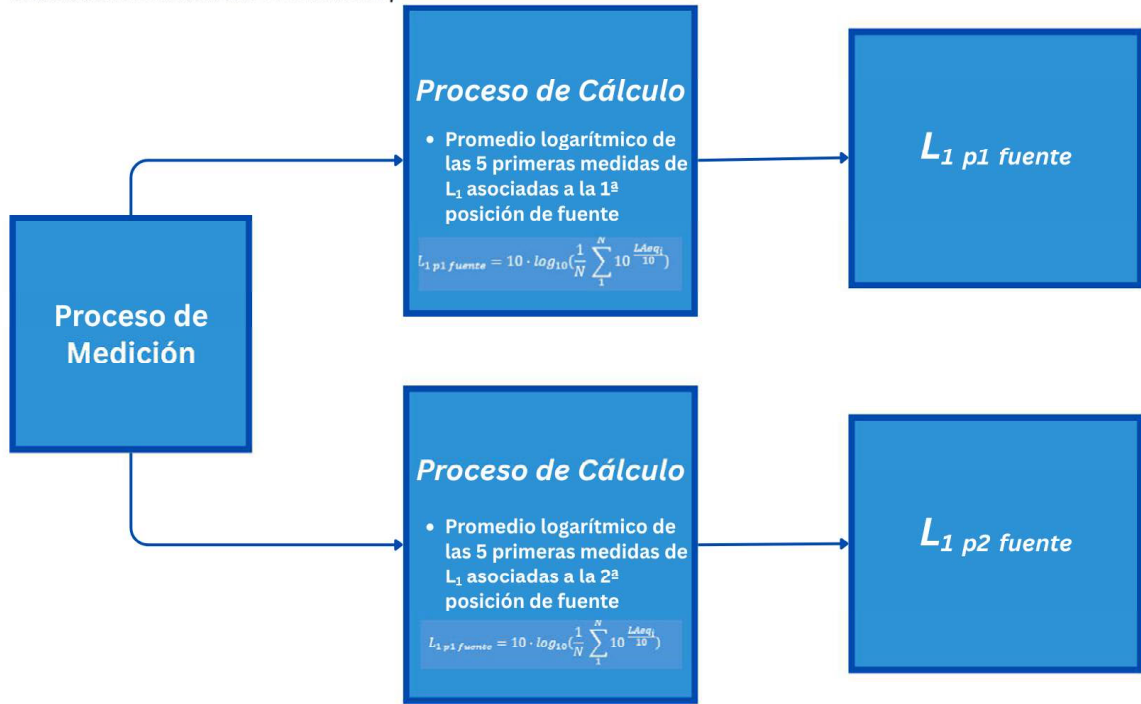


Figura 5-21. Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Nivel de Emisión.

Obtención del valor de nivel de presión sonora en el recinto receptor L_2

El procedimiento y cálculos llevados a cabo por la herramienta han de ser los mismos que los realizados para la obtención del nivel de presión sonora en el recinto emisor (L_1). Obteniendo así los valores de $L_{2 p1 \text{ fuente}}$ y $L_{2 p2 \text{ fuente}}$.

Cálculo de Nivel de Rcepción L_2

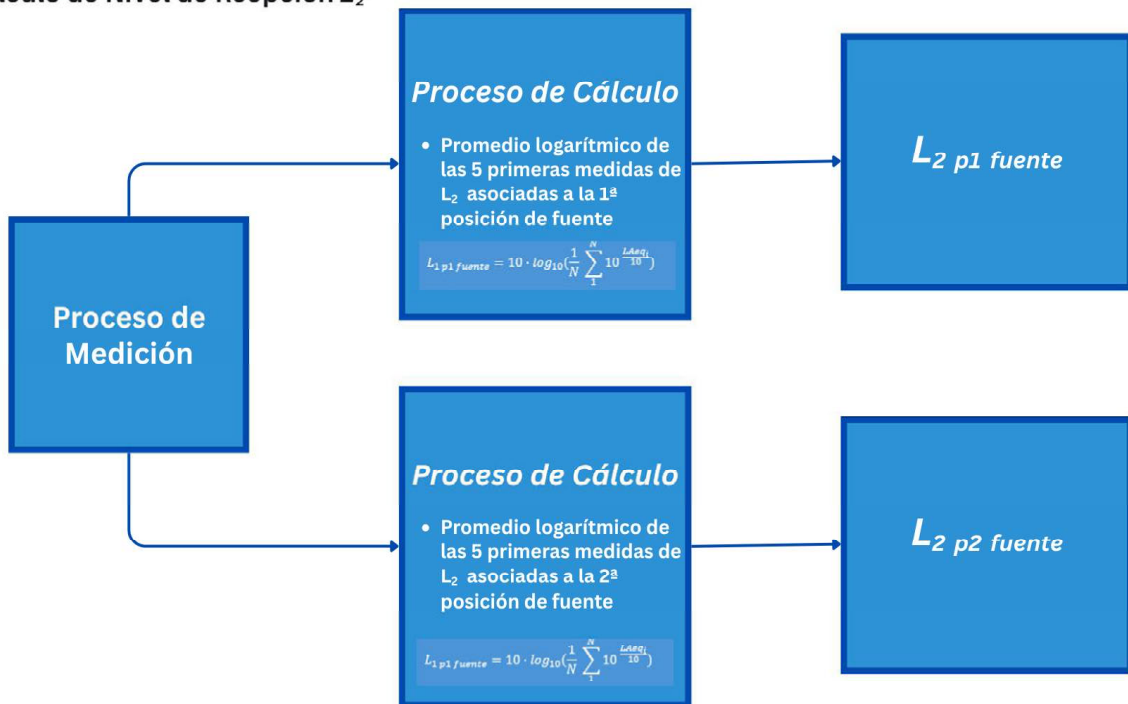


Figura 5-22. Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Nivel de Recepción.

La herramienta ha de aplicar la corrección por nivel de ruido de fondo en la sala receptora de manera independiente a los valores de $L_{2\ p1\ fuente}$ y $L_{2\ p2\ fuente}$.

Por sencillez en la explicación, se detalla a continuación el procedimiento para el valor de $L_{2\ p1\ fuente}$, siendo el procedimiento exactamente igual para el valor de $L_{2\ p2\ fuente}$.

Se ha de distinguir entre tres situaciones diferentes para aplicar de manera la corrección correspondiente a cada caso.

- Si la diferencia en decibelios entre el nivel de presión sonora promedio en la sala receptora para una de las posiciones de la fuente ($L_{2\ p1\ fuente}$) y el nivel de ruido de fondo en la sala receptora promedio (LRF) se sitúa entre 6 y 10 dB, se ha de aplicar la siguiente ecuación.

$$L_{2\ p1\ fuente\ corregido} = 10 \cdot \log\left(10^{\frac{L_{2\ p1\ fuente}}{10}} - 10^{\frac{LRF}{10}}\right) \quad \text{Ecuación 5-4}$$

- Si la diferencia en decibelios entre el nivel de presión sonora promedio en la sala receptora para una de las posiciones de la fuente ($L_{2\ p1\ fuente}$) y el nivel de ruido de fondo en la sala receptora promedio (LRF) es inferior a 6 dB, se ha de aplicar la siguiente ecuación.

$$L_{2\ p1\ fuente\ corregido} = L_{2\ p1\ fuente} - 1,3\ dB \quad \text{Ecuación 5-5}$$

- Si la diferencia en decibelios entre el nivel de presión sonora promedio en la sala receptora para una de las posiciones de la fuente ($L_{2\ p1\ fuente}$) y el nivel de ruido de fondo en la sala receptora promedio (LRF) es mayor a 10 dB, no se lleva a cabo ninguna corrección. Por lo tanto:

$$L_{2\ p1\ fuente\ corregido} = L_{2\ p1\ fuente} \quad \text{Ecuación 5-6}$$

Tras aplicar la corrección correspondiente a cada uno de los casos se han de obtener los valores de $L_{2\ p1\ fuente\ corregido}$ y $L_{2\ p2\ fuente\ corregido}$.

Corrección del Nivel de Recepción L_2 por Ruido de Fondo LRF

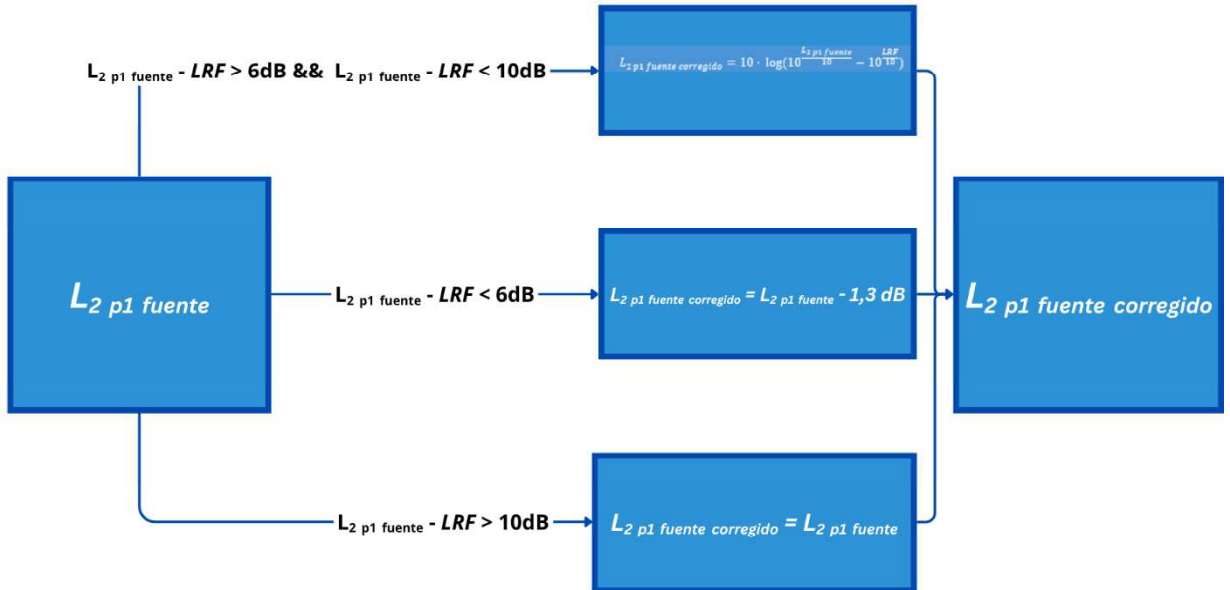


Figura 5-23. Diagrama de bloques del proceso de cálculo de corrección de Nivel de Recepción por Ruido de Fondo.

Obtención del valor de tiempo de reverberación

Para la obtención del valor del tiempo de reverberación se lleva a cabo un promedio aritmético en cada una de las bandas de tercio de octava de las 6 medidas realizadas, obteniendo así T .

Cálculo de Tiempo de Reverberación

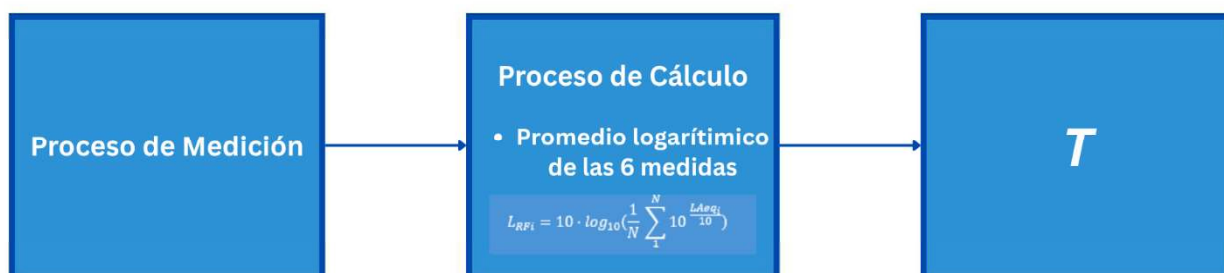


Figura 5-24. Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Tiempo de Reverberación.

Obtención de diferencia de niveles estandarizada (D_{nT})

Para la obtención del valor de la diferencia de niveles estandarizada (D_{nT}) global, es necesario primero obtener la diferencia de niveles estandarizada para cada una de las posiciones de la fuente, obteniendo $D_{nT \text{ p1 fuente}}$ y $D_{nT \text{ p2 fuente}}$.

Por simplicidad en las explicaciones y eliminación de redundancias, se va a explicar el proceso de obtención de solo uno de los valores de diferencia de niveles estandarizada correspondiente a una posición de fuente, en este caso la primera posición. Obteniendo así $D_{nT \text{ p1 fuente}}$. El proceso de obtención de $D_{nT \text{ p2 fuente}}$ es exactamente el mismo.

Para la obtención de la diferencia de niveles estandarizada para la posición de fuente en cuestión, el primer paso es la obtención del valor de la diferencia de niveles para esa misma posición de fuente $D_{p1 \text{ fuente}}$ haciendo uso de la Ecuación 1-1 expuesta en el apartado de Norma UNE-EN ISO 16283-1 de este proyecto, como el resto de las ecuaciones que se van a citar en este proceso. En este caso L_1 se corresponde con $L_{1 \text{ p1 fuente}}$ y L_2 se corresponde con $L_{2 \text{ p1 fuente}}$ corregido.

Una vez obtenido $D_{p1 \text{ fuente}}$ la herramienta procede a calcular la diferencia de niveles estandarizada para la primera posición de fuente $D_{nT \text{ p1 fuente}}$. Esto se consigue haciendo uso de la Ecuación 1-2. En este caso D se corresponde con $D_{p1 \text{ fuente}}$ y T con el valor de Tiempo de Reverberación.

Tras repetir el mismo proceso para la segunda posición de fuente, finalmente se disponen de los valores de $D_{nT \text{ p1 fuente}}$ y $D_{nT \text{ p2 fuente}}$. A partir de ellos se calcula el valor global de la diferencia de niveles estandarizada (D_{nT}), haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$D_{nT} = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{D_{nT,j}}{10}}\right)$$

Ecuación 5-7

Donde m es el número de posiciones de fuente (en este caso 2), $D_{nT,1}$ es D_{nT} p1 fuente y $D_{nT,2}$ es D_{nT} p2 fuente.

Corrección de la Diferencia de Niveles Estandarizada D_{nT}

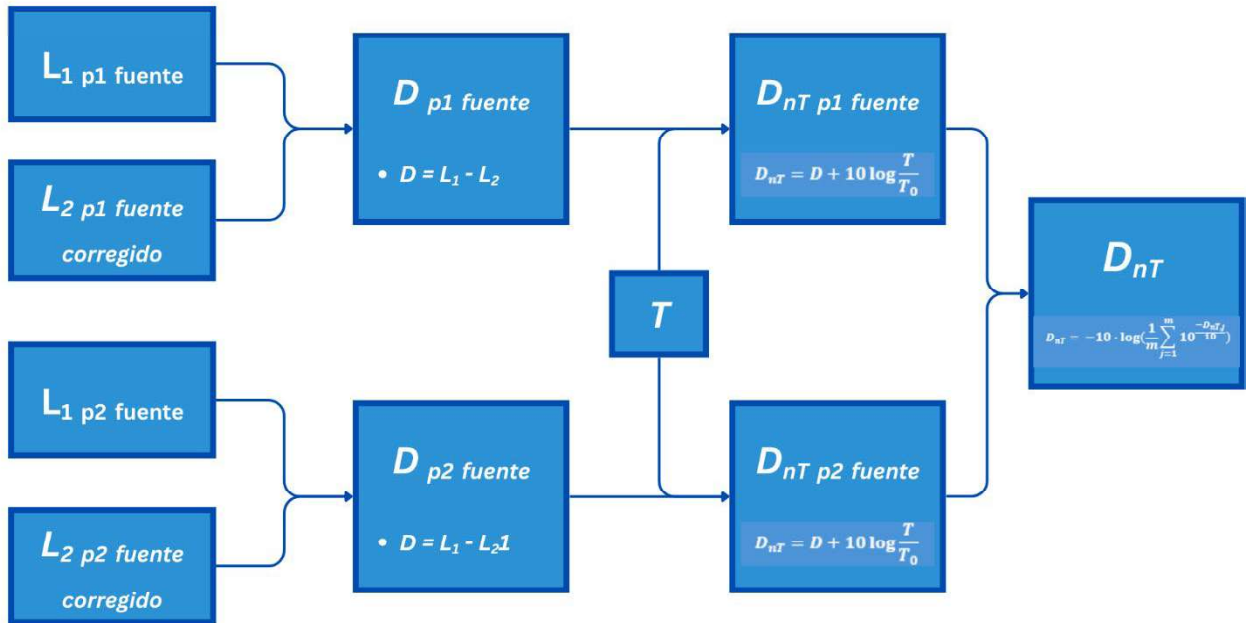


Figura 5-25. Diagrama de bloques del proceso de cálculo de la Diferencia de Niveles Estandarizada.

Obtención del índice de reducción acústica aparente (R')

Para la obtención del valor del índice de reducción acústica aparente (R') global, es necesario primero obtener el índice de reducción acústica aparente para cada una de las posiciones de la fuente, obteniendo $R'_{\text{p1 fuente}}$ y $R'_{\text{p2 fuente}}$.

Por simplicidad en las explicaciones y eliminación de redundancias, se va a explicar el proceso de obtención de solo uno de los valores correspondiente a una posición de fuente, en este caso la primera posición. Obteniendo así $R'_{\text{p1 fuente}}$. El proceso de obtención de $R'_{\text{p2 fuente}}$ es exactamente el mismo.

Para la obtención del índice de reducción acústica aparente para la posición de fuente en cuestión, el primer paso es la obtención del valor de la diferencia de niveles para esa misma posición de fuente $D_{\text{p1 fuente}}$ haciendo uso de la *Ecuación 1-1* expuesta en el apartado de Norma UNE-EN ISO 16283-1 de este proyecto, como el resto de las ecuaciones que se van a citar en este proceso. En este caso L_1 se corresponde con $L_{1 \text{ p1 fuente}}$ y L_2 se corresponde con $L_{2 \text{ p1 fuente corregido}}$.

Una vez obtenido $D_{\text{p1 fuente}}$ la herramienta procede a calcular el índice de reducción acústica aparente para la primera posición de fuente $R'_{\text{p1 fuente}}$. Esto se consigue haciendo uso de la

Ecuación 1-4. En este caso D se corresponde con $D_{p1\text{ fuente}}$, S es el área de separación común entre recintos y A el área de absorción equivalente obtenida mediante la Ecuación 1-5.

En la Ecuación 1-5, T se corresponde con el valor del Tiempo de Reverberación.

Tras repetir el mismo proceso para la segunda posición de fuente, finalmente se disponen de los valores de $R'_{p1\text{ fuente}}$ y $R'_{p2\text{ fuente}}$. A partir de ellos se calcula el valor global del índice de reducción acústica aparente (R') haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$R' = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{R'_j}{10}}\right) \quad \text{Ecuación 5-8}$$

Donde m es el número de posiciones de fuente (en este caso 2), R'_{p1} es $R'_{p1\text{ fuente}}$ y R'_{p2} es $R'_{p2\text{ fuente}}$.

Corrección del Índice de Reducción Acústica Aparente R'

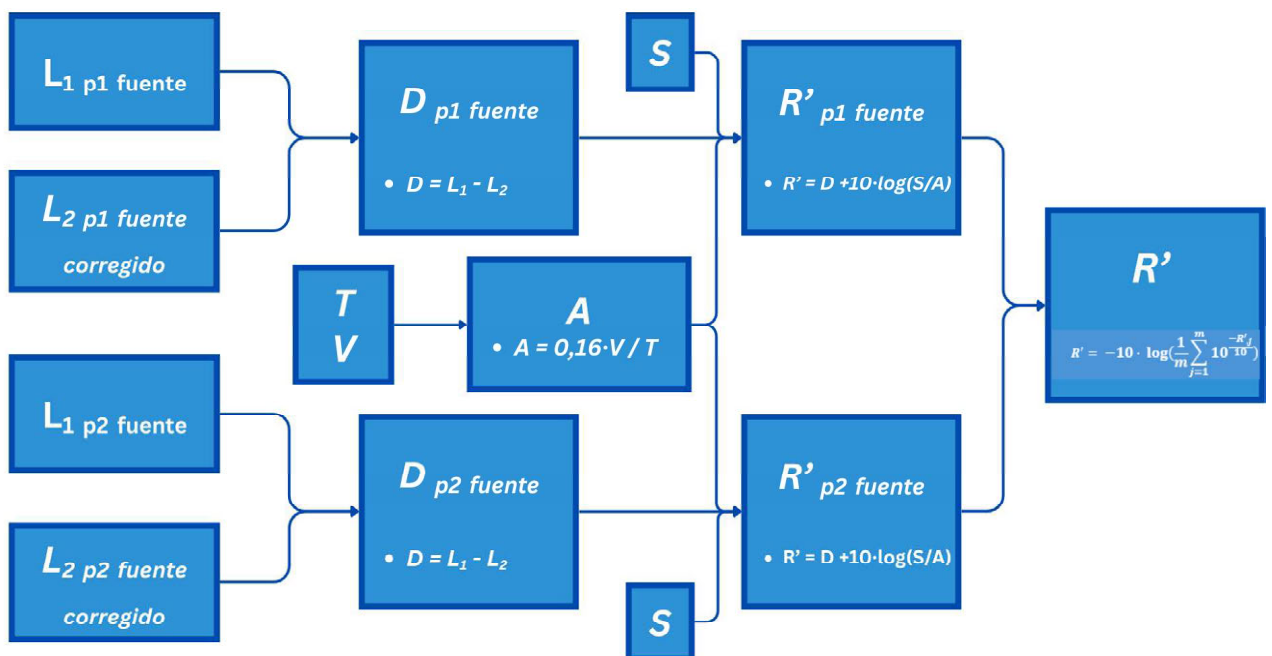


Figura 5-26. Diagrama de bloques del proceso de cálculo del Índice de Reducción Acústica Aparente.

Obtención de la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ y del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_{w} según la norma UNE-EN ISO 717-1

El procedimiento de cálculo para la obtención de los valores de diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ y del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_{w} es idéntico.

Para la obtención de los valores de diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ y del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_{w} la herramienta desarrollada utiliza la siguiente curva de referencia definida en la norma UNE-EN ISO 717-1.

Tabla 5-3. Curva de referencia para el cálculo de $D_{nT,w} / R'_w$

Frecuencia (Hz)	Valores de referencia (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Esta curva de referencia es necesario desplazarla en pasos de 1 dB hasta que la suma de las desviaciones desfavorables con respecto al valor global de D_{nT}/R' obtenido en pasos anteriores sea menor que 32 dB.

Una vez obtenidos los valores finales de la curva desplazada que cumplan dicho requisito, el valor de $D_{nT,w}/R'_w$ es el valor de la curva desplazada para la frecuencia de 500 Hz.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo.

Tabla 5-4. Ejemplo de cálculo de $D_{nT,w}/R'_w$

Frecuencia (Hz)	Curva de ref. (dB)	Curva de ref. desplazada (dB)	D_{nT}/R' (dB)	Curva desplazada - D_{nT}/R'	Desviación desfavorable
100	33	53	51	2	2
125	36	56	50	6	6
160	39	59	53	6	6
200	42	62	56	6	6
250	45	65	59	6	6
315	48	68	66	2	2
400	51	71	72	-1	0
500	52	72	73	-1	0
630	53	73	74	-1	0
800	54	74	75	-1	0
1000	55	75	76	-1	0
1250	56	76	77	-1	0
1600	56	76	78	-2	0
2000	56	76	79	-3	0
2500	56	76	80	-4	0
3150	56	76	81	-5	0
			Suma desviación desfavorable	28	< 32 dB
			$D_{nT,w}/R'_w$	72	

Obtención de los términos de adaptación espectral C y C_{tr} referidos a $D_{nT,w}/R'_w$ conforme a la norma UNE-EN ISO 717-1.

El proceso de obtención del término espectral C y del término espectral C_{tr} es idéntico en cuanto al procedimiento se refiere. La única diferencia que presentan es el espectro de referencia que la norma expone para su obtención y en el cual se basan los cálculos que lleva a cabo la herramienta.

Tabla 5-5. Espectros de referencia para el cálculo de C y C_{tr}

Frecuencia (Hz)	Espectro nº 1 para calcular C (dB)	Espectro nº 2 para calcular C_{tr} (dB)
100	-29	-20
125	-29	-20
160	-23	-18
200	-21	-16
250	-19	-15
315	-17	-14
400	-15	-13
500	-13	-12
630	-12	-11
800	-11	-9
1000	-10	-8
1250	-9	-9
1600	-9	-10
2000	-9	-11
2500	-9	-13
3150	-9	-15

El espectro nº1 a partir del cual se calcula el término C, hace referencia al ruido rosa ponderado en A, mientras que el espectro nº2 empleado para el cálculo del término C_{tr} se refiere al ruido de tráfico urbano ponderado en A.

A partir de estos espectros de referencia, la herramienta ha de llevar a cabo los cálculos expuestos en la norma UNE-EN ISO 717-1 para la obtención de ambos términos espectrales.

Por sencillez en la explicación y debido a que las ecuaciones a aplicar son las mismas para ambos términos, se procede a explicar el caso de solo uno de ellos, el término C. Para la obtención del término C_{tr} la herramienta procede de la misma forma, pero haciendo referencia a su espectro correspondiente.

Para la obtención del término espectral C, la norma emplea la siguiente ecuación:

$$C = X_{AJ} - X_w \quad \text{Ecuación 5-9}$$

Donde:

- X_w corresponde a valor global correspondiente a $D_{nT,w}/R'_w$.
- X_{AJ} se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$X_{AJ} = -10 \cdot \log\left(\sum 10^{\frac{L_{ij}-X_i}{10}}\right) \quad \text{Ecuación 5-10}$$

Donde:

- i es el índice para las bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz.
- L_{ij} son los niveles a la frecuencia i para el espectro j (en el caso de C para el espectro nº1 y para C_{tr} el espectro nº2).
- X_i es el valor correspondiente a la frecuencia i del índice global D_{nT}/R' expresado con una cifra decimal.

El valor de X_{AJ} ha de ser redondeado al valor entero más cercano, para así expresar también como valor entero los términos de adaptación espectral C y C_{tr} .

Cálculo de los índices C y C_{tr}

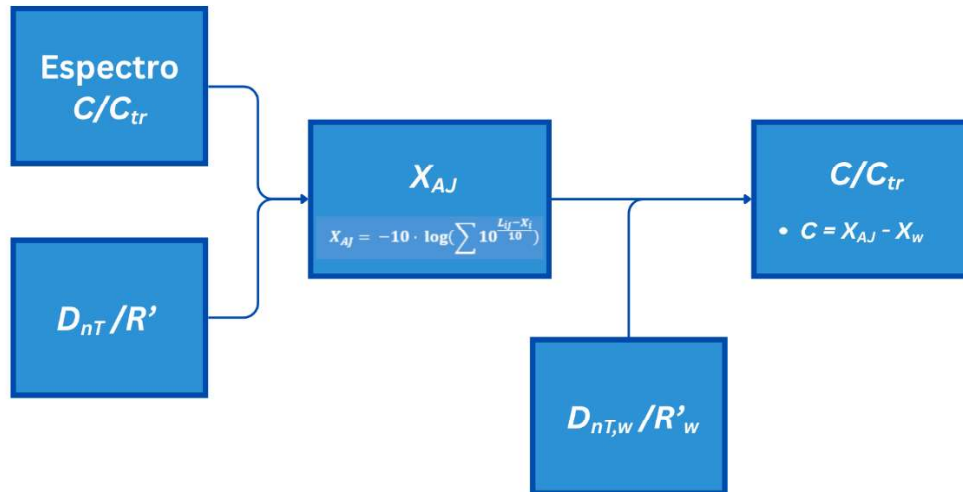


Figura 5-27. Diagrama de bloques del proceso de cálculo de los índices C y C_{tr}

Tabla 5-6. Incertidumbre asociada a D_{nT} y R'

f (Hz)	INCERTIDUMBRE TÍPICA u (Caso B de Norma UNE-EN ISO 12999-1) Aislamiento a ruido aéreo
50	4,0
63	3,6
80	3,2
100	2,8
125	2,4
160	2,0
200	1,8
250	1,6
315	1,4
400	1,2
500	1,1
630	1,0
800	1,0
1000	1,0
1250	1,0
1600	1,0
2000	1,0
2500	1,3
3150	1,6
4000	1,9
5000	2,2

Incertidumbre Expandida

Se considera un factor de cobertura $k=2$, considerando distribución normal, que supone un nivel de confianza aproximado del 95%. La incertidumbre de medida expandida resulta:

$$U = k \cdot u = 2 \cdot u \quad \text{Ecuación 5-11}$$

Expresión de resultado final del ensayo

El resultado final del ensayo se expresará como el siguiente ejemplo:

$$D_{nT}/R' \pm U \quad \text{Ecuación 5-12}$$

En el caso de la incertidumbre asociada al resto de índices presentados por la herramienta, se emplean los valores recogidos a continuación.

Tabla 5-7. Incertidumbre asociada al resto de índices de un ensayo

Índice	INCERTIDUMBRE TÍPICA u (Caso B de Norma UNE-EN ISO 12999-1)
$R'_w, D_{nT,w}$	0,9
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{100-3150}$	0,9
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{100-5000}$	1,1
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{50-3150}$	1,0
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{50-5000}$	1,1
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{tr,100-3150}$	1,1
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{tr,100-5000}$	1,1
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{tr,50-3150}$	1,3
$(R'_w, D_{nT,w}) + C_{tr,50-5000}$	1,0

Incertidumbre Expandida

Se considera un factor de cobertura $k=2$, considerando distribución normal, que supone un nivel de confianza aproximado del 95%. Esto se consigue aplicando la *Ecuación 5-11*.

Expresión de resultado final del ensayo

El resultado final del ensayo se expresará como el siguiente ejemplo:

$$D_{nT,w}/R'_w \pm U \quad \text{Ecuación 5-13}$$

5.4 Explicación del desarrollo del software que implementa los pasos de medida

El software de la herramienta se divide en tres grandes VIs que abarcan las tres principales funcionalidades del sistema, el proceso de medición, el proceso de visualización y análisis de los datos adquiridos junto con el proceso de cálculos y presentación de resultados.

Los tres principales VIs son:

- *MAKE_Sound_Measurements*: Este VI es el encargado de guiar de forma parcial al usuario en el proceso de medida, así como de capturar, analizar y almacenar los datos adquiridos. Finalmente, muestra por pantalla el resultado de la medida realizada.
- *READ_Sound_Measurements_File*: Este VI es el encargado de reproducir por pantalla las medidas almacenadas previamente. A su vez, tiene la capacidad de modificar parámetros asociados a dicha medida, como el tipo de medida realizada, la fecha o la dirección, y guardarla de nuevo con dichas características actualizadas.
- *VIEW_Sound_Test_Results*: Este es el VI encargado de llevar a cabo todos los cálculos normativos a partir de los datos capturados. También, presenta por pantalla los resultados del ensayo de manera gráfica y numérica.

Durante el transcurso del desarrollo de la herramienta se sigue una estructura en la captura y el manejo de datos detallada a continuación.

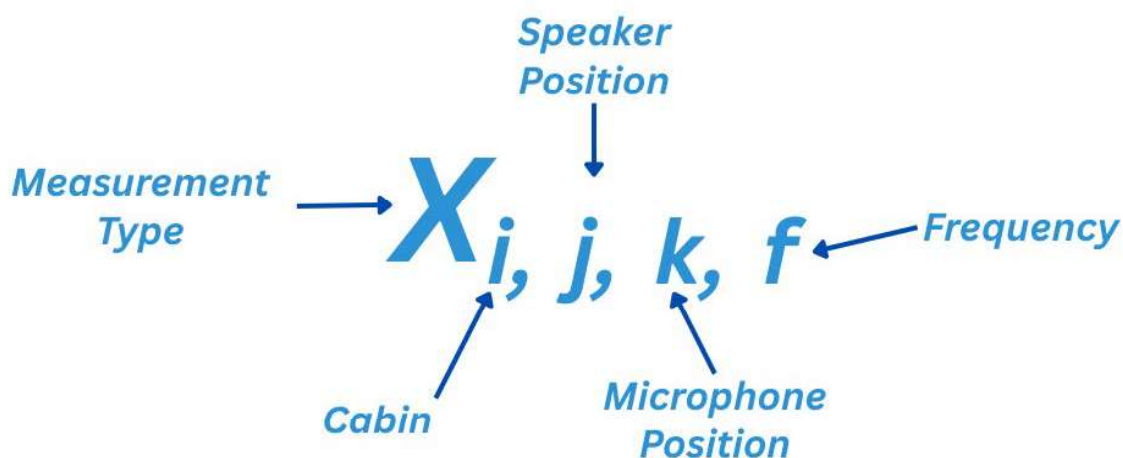


Figura 5-29. Explicación de la estructura de manejo de datos.

En la anterior imagen se observa la estructura de manejo de datos idea donde:

- “X” es el tipo de medida realizada. En el caso de la herramienta estas pueden ser “L” para los datos de tipo L_1 y L_2 , “LRF” para los datos de tipo LRF y “TR” para los datos de tipo T . Todos estos tipos están explicados en el apartado 1.4 de esta memoria.
- El subíndice “i” indica el recinto donde se ha realizado la medida. Siendo 1 para el recinto emisor y 2 para el recinto receptor.
- El subíndice “j” indica la posición de fuente para esa medida. Siendo 1 para la primera posición y 2 para la segunda.
- El subíndice “k” indica la posición de micrófono correspondiente a esa medida.

- El subíndice “f” hace referencia a la banda de frecuencia correspondiente al valor de la medida.

La estructura de datos queda definida de una manera más específica en la siguiente imagen.

i: cabin	j: Speaker Pos.	k: Microphone Pos.	f: frequency
Row Index Array:	L i,j,k,f	LRF i,j,k,f	TR i,j,k,f
0	L 1,1,1,f	LRF 2,1,1,f	TR 2,1,1,f
1	L 1,1,2,f	LRF 2,1,2,f	TR 2,1,2,f
2	L 1,1,3,f	LRF 2,1,3,f	TR 2,1,3,f
3	L 1,1,4,f	LRF 2,1,4,f	TR 2,1,4,f
4	L 1,1,5,f		TR 2,1,5,f
5	L 1,2,1,f		TR 2,1,6,f
6	L 1,2,2,f		
7	L 1,2,3,f		
8	L 1,2,4,f		
9	L 1,2,5,f		
10	L 2,1,1,f		
11	L 2,1,2,f		
12	L 2,1,3,f		
13	L 2,1,4,f		
14	L 2,1,5,f		
15	L 2,2,1,f		
16	L 2,2,2,f		
17	L 2,2,3,f		
18	L 2,2,4,f		
19	L 2,2,5,f		

Figura 5-30. Explicación de las posibles combinaciones en la estructura da datos.

La figura anterior muestra todas las posibles combinaciones para la captura, almacenamiento y procesamiento de los datos por parte de la herramienta. Este diseño de la estructura de los datos de las medidas permite una agrupación matricial de los datos que va a facilitar la programación.

Cada medida de la tabla ($X_{i,j,k,f}$) es a su vez un array unidimensional de la medida en sus componentes de tercio de octava.

5.4.1 MAKE_Sound_Measurements

El objetivo principal de este VI es el de guiar al usuario a través del proceso de medición asociado a un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 5.3.1 “Procedimiento detallado de medida”.

En la interfaz que se muestra al usuario, se encuentra dividida en dos pestañas, “*Measurement Data*” y “*Obtained Measurement*”.

En la primera pestaña se encuentra una sección para seleccionar la ruta donde se desean almacenar los resultados de las mediciones.

Otra sección de selección de ruta, asociado al archivo que se desea reproducir para llevar a cabo la medida dedicada al tiempo de reverberación.

A su vez, se encuentran varios paneles en los que seleccionar aspectos clave como la tarjeta de sonido que se desea emplear para la adquisición de datos, los niveles a partir de los cuales calcular la pendiente del tiempo de reverberación, el volumen deseado en la reproducción del

ruido rosa o varias configuraciones para seleccionar la medida a realizar. También se puede observar la presencia de apartados en los que introducir manualmente datos identificativos del ensayo, como un código de identificación del mismo, la dirección del ensayo, comentarios acerca de este y el nombre del técnico que lo llevó a cabo. Por último, se pueden observar los resultados de cada medida llevada a cabo de manera gráfica y numérica, gracias a la presencia de indicadores que así lo permiten. Se puede acceder individualmente al valor en forma numérica de cada banda frecuencial en tercio de octava de la medida en cuestión.

En la segunda pestaña se observa directamente el resultado de la medida realizada. En esta pestaña se observan, sin posibilidad de ser modificados, los datos identificativos del ensayo y de la medida. También se puede observar de manera gráfica y numérica el resultado de la medida llevada a cabo en el dominio de la frecuencia. Pudiendo acceder individualmente al valor en forma numérica de cada banda frecuencial en tercio de octava de la medida realizada.

La interfaz de dicho VI se muestra a continuación.

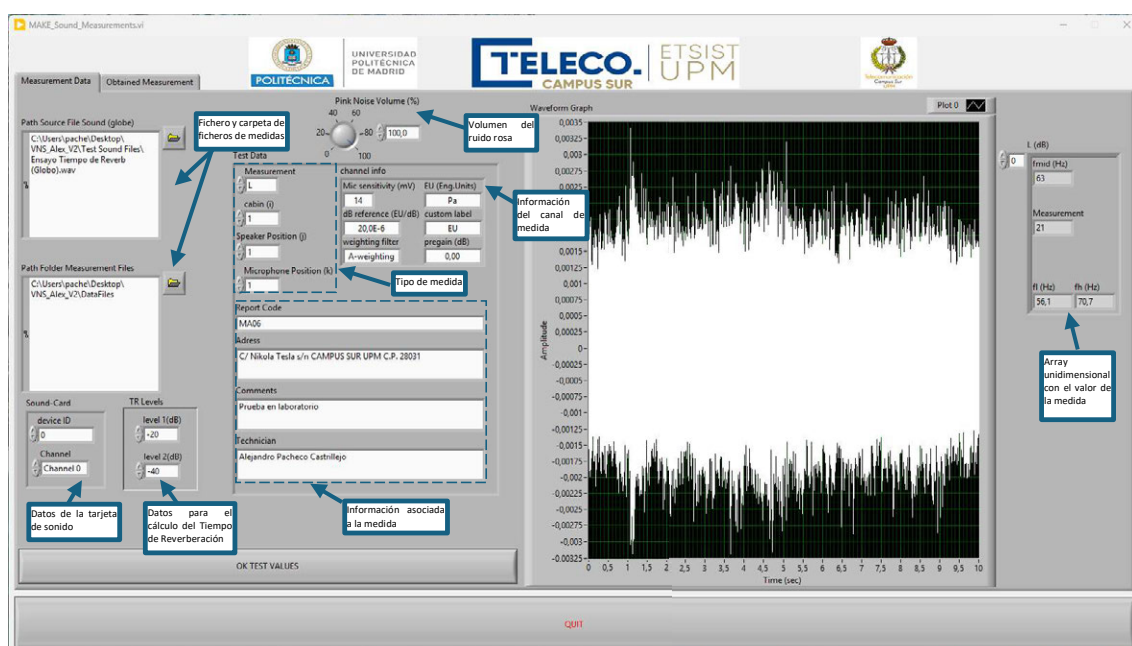


Figura 5-31. Front Panel del VI "MAKE_Sound_Measurements" Pestaña 1.

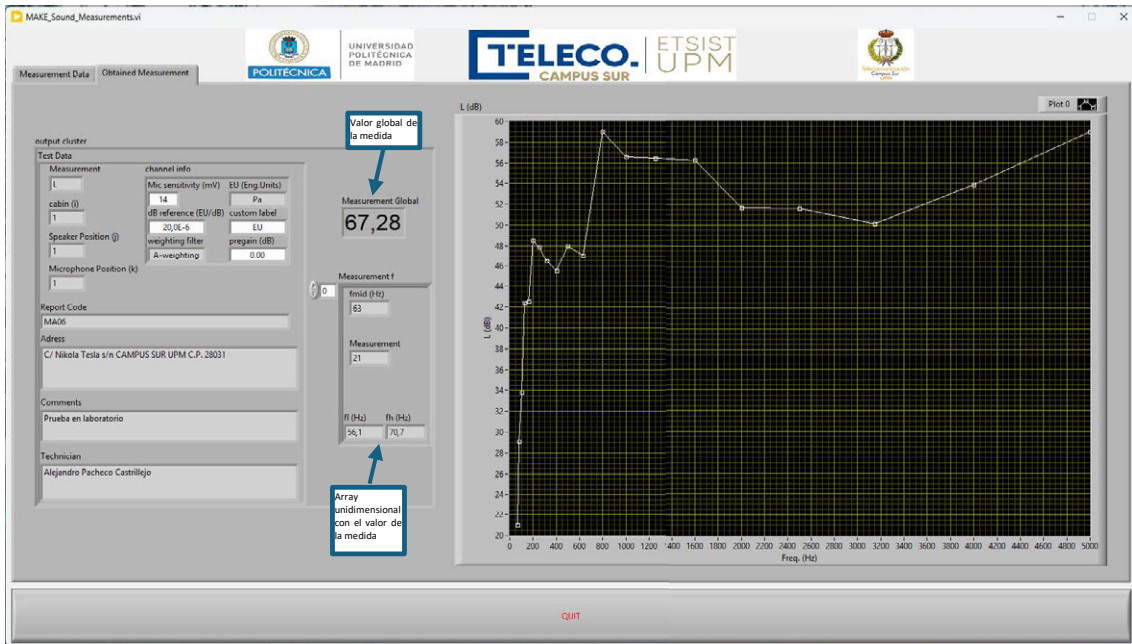


Figura 5-32. Front Panel del VI “MAKE_Sound_Measurements” Pestaña 2.

Para llevar a cabo su funcionamiento, el código desarrollado en LabVIEW™ se ha estructurado en una máquina de estados, cuyo diagrama de bloques se muestra a continuación

MAKE_Sound_Measurements

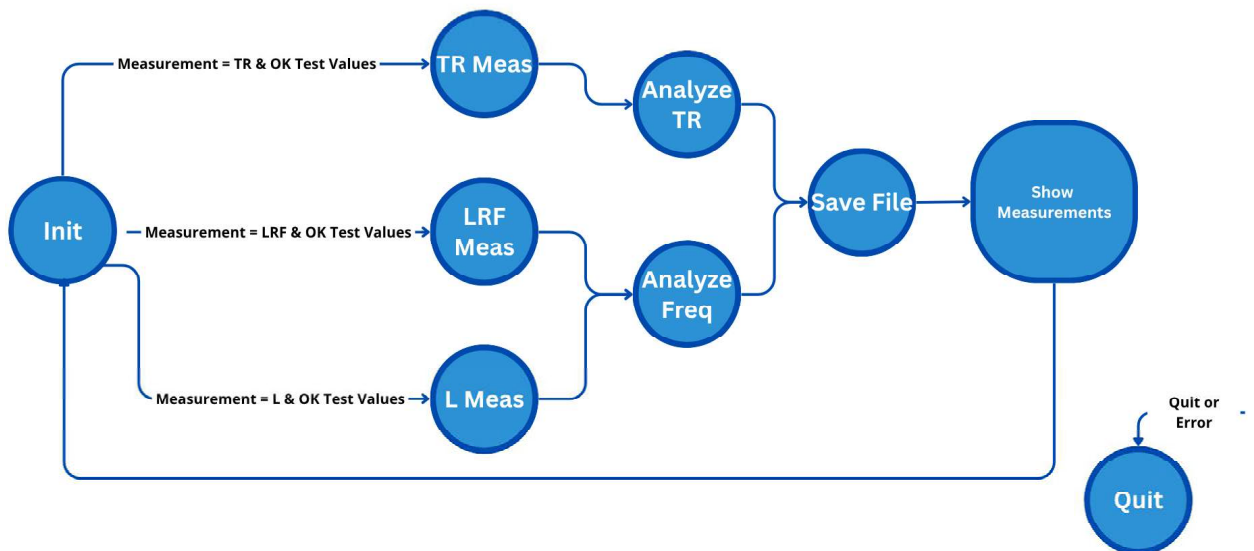


Figura 5-33. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI “MAKE_Sound_Measurements”.

Para la correcta implementación de la máquina de estados detallada en el diagrama de bloques anterior, se han desarrollado los siguientes SubVIs. Estos SubVIs se explicarán en detalle en la descripción de cada estado.

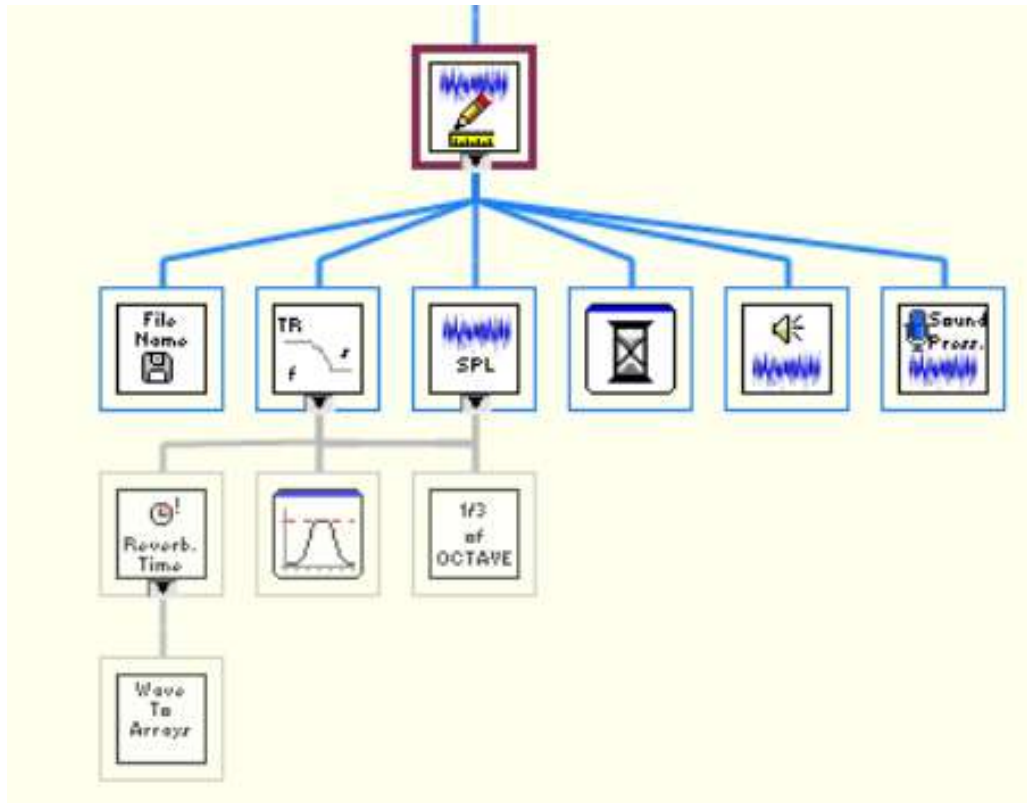


Figura 5-34. Árbol de jerarquías del VI "MAKE_Sound_Measurements"

Estado "Init"

Se trata del estado inicial de la máquina de estados diseñada. Previo a la puesta en marcha del VI se establecen las condiciones de la medida y de contorno que son las siguientes.

- Se selecciona la ruta donde encontrar el archivo que se utilizará para la evaluación del tiempo de reverberación.
- Se selecciona la ruta donde se almacenan las medidas a realizar.
- Se habilitan los controles y paneles para la introducción de los detalles de la medida a realizar, así como su información asociada.
- Se adaptan los ejes de las gráficas al tipo de información que se va a representar.

Estado "L Meas."

Tras haber seleccionado "L" como tipo de medida, y accionado el botón de "OK TEST VALUES" se accede a este estado. Su función es la poner en marcha la toma de datos de la medida tipo "L" asociada al proceso de medición del nivel de emisión (L_1) y nivel de recepción (L_2) explicado en el apartado "Procedimiento detallado de medida".

Para la adquisición de datos se hace uso del SubVI desarrollado específicamente denominado "Measure_Sound_Pressure". Para la toma de datos este SubVI necesita como parámetros un clúster de dos elementos con la información relativa a la tarjeta de sonido empleada (ID del dispositivo y canal), el tiempo de medida, la sensibilidad del micrófono empleado y el nivel de ganancia previa. Un clúster se define como una estructura de datos que agrupa múltiples

elementos de distintos tipos en una sola unidad lógica [31]. Con esta información es capaz de registrar la medida y devolver dos señales de nivel de presión, una en Voltios y otra en Pascales.

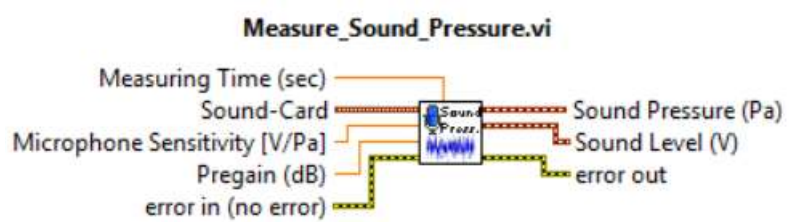


Figura 5-35. Measure_Sound_Pressure VI.

Para la generación del ruido rosa necesario en la evaluación del nivel de emisión (L_1) y nivel de recepción (L_2) se emplea un VI recogido en una de las librerías que otorga el toolkit de “Sound and Vibration” de LabVIEW™, denominado “SVT Pink Noise Waverform”. Para la reproducción de la señal de ruido rosa generada por este VI se emplea un SubVI de desarrollo propio denominado “Finite-generation sound card”. Este SubVI es capaz de reproducir la señal de su entrada empleando una determinada tarjeta de sonido y a un volumen determinado a la entrada

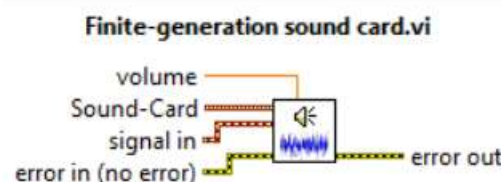


Figura 5-36. Finite-generation sound card VI.

Estado “LRF Meas.”

Tras haber seleccionado “LFR” como tipo de medida, y accionado el botón de “OK TEST VALUES” se accede a este estado. Su función es la poner en marcha la toma de datos de la medida tipo “LRF” relacionada con el procedimiento de medida de nivel de ruido de fondo en la sala receptor (LRF) explicado en el apartado “Procedimiento detallado de medida”.

El código empleado en este estado para la adquisición de datos es el mismo que el utilizado en el estado de “L Meas.”. Para ello se emplea el SubVI previamente explicado “Measure_Sound_Pressure”. La diferencia reside en que en este estado no es necesaria la generación de ninguna fuente de ruido.

Estado “TR Meas.”

Tras haber seleccionado “TR” como tipo de medida, y accionado el botón de “OK TEST VALUES” se accede a este estado. Su función es la poner en marcha la toma de datos de la medida tipo “TR” relacionada con el procedimiento de medida de tiempo de reverberación (TR) explicado en el apartado “Procedimiento detallado de medida”.

El código empleado en este estado para la adquisición de datos es el mismo que el utilizado en el estado de “L Meas.” y “LRF Meas.”. Para ello se emplea el SubVI previamente explicado “Measure_Sound_Pressure”. La diferencia reside en que en este proceso de medida se necesita la reproducción de un archivo que contenga el sonido que servirá para la evaluación del tiempo

de reverberación. Para ello se hace uso del VI "Play Sound File", encargado de reproducir un archivo ubicado en la ruta que se la pasa como parámetro

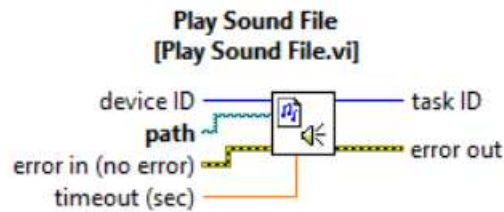


Figura 5-37. Play Sound File VI.

Estado "Analyze Freq."

El presente estado es el encargado de analizar, en el dominio de la frecuencia, los datos adquiridos en los estados "L Meas." y "LRF Meas.". Para ellos hace uso de un SubVI de desarrollo propio, denominado "Analyze_Sound_Pressure_Level", cuya función es la de calcular el nivel de presión sonora en dBA de manera global y en bandas de tercio de octava. Para ello hace uso de la señal adquirida en los anteriores estados y de la información almacenada en el clúster "channel info".

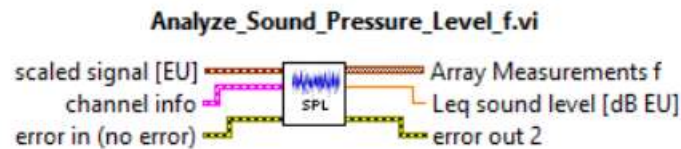
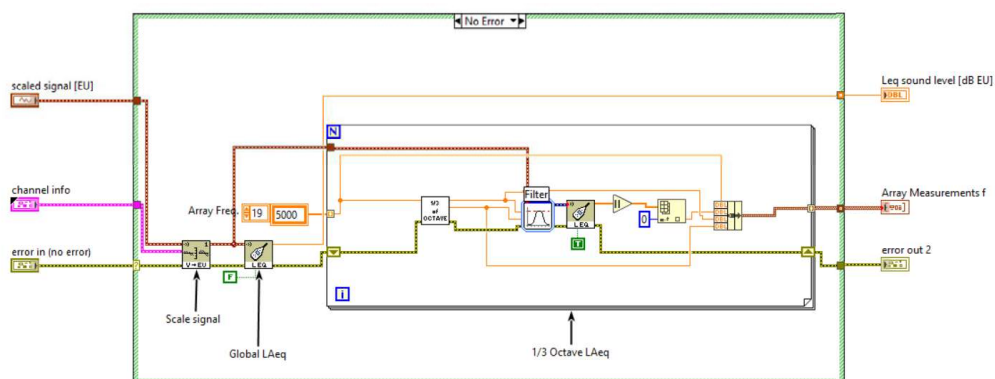


Figura 5-38. Analyze_Sound_Pressure_Level SubVI.

A continuación, se entra en detalle en el recién mencionado SubVI al considerarse código de relevancia.



This SubVI calculates Sound Pressure Level expressed in dBA
Global Value and 1/3 octave band frequencies

Figura 5-39. Analyze_Sound_Pressure_Level Block Diagram.

Como se aprecia en su diagrama de bloques, el análisis de la señal se lleva a cabo en diferentes pasos.

1. Realiza el cambio de escala de la señal de entrada al SubVI en Pascales, a la señal que se necesita para ser tratada en dBA. Para ello se hace uso de un VI perteneciente al toolkit de "Sound and Vibration" denominado "SVL Scale Voltage to EU (1 Ch)".

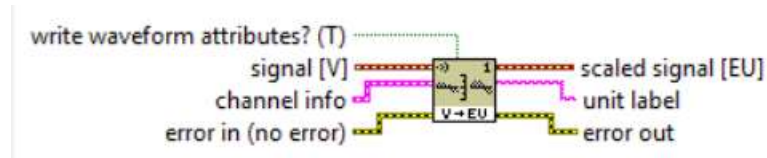


Figura 5-40. SVL Scale Voltage to EU (1 Ch) VI.

Para realizar esta conversión el VI necesita toda la información contenida en el clúster "channel info" que recibe como entrada. Esta información es la sensibilidad del micrófono, las unidades de la señal (en este caso Pascales), el nivel de referencia para la conversión a dB (en el caso de Pascales es $20 \cdot 10^{-6}$), una etiqueta de identificación, la ponderación a aplicar (en este caso la ponderación A) y la ganancia aplicada por un amplificador externo en el caso de haberlo (en dB).

2. Obtiene el nivel global equivalente ponderado en A para la medida (LA_{eq}), expresado en dBA. Para ello se emplea la señal en dBA entregada por el VI anteriormente explicado VI y se utiliza como señal de entrada a un VI perteneciente al toolkit "Sound and Vibration". Este VI se denomina "SVL Leq Sound Level".
3. Obtiene el nivel equivalente ponderado en A para la medida (LA_{eq}), expresado en dBA, para cada banda de frecuencia en tercios de octava. Para ello se hace uso de un bucle que se repite tantas veces como bandas de frecuencia se necesiten. En él se presenta una secuencia de tres VIs que consiguen el objetivo deseado. El primero de ellos, denominado "1_3 of Octave (SubVI)", es un SubVI de desarrollo propio que calcula las frecuencias de corte superior e inferior para cada banda de tercio de octava, a partir de su frecuencia central.

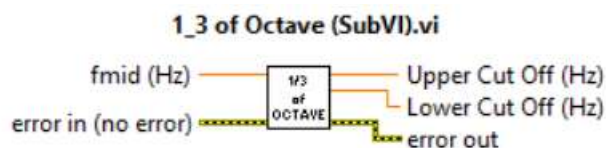


Figura 5-41. 1_3 of Octave (SubVI) VI.

Para obtener las frecuencias de corte utiliza las siguientes expresiones.

$$Upper\ Cut\ Off = f_{mid} \cdot 2^{\frac{1}{6}} \quad \text{Ecuación 5-14}$$

$$Lower\ Cut\ Off = f_{mid} \cdot 2^{-\frac{1}{6}} \quad \text{Ecuación 5-15}$$

El segundo VI de la secuencia se trata de un filtro que secciona la señal de entrada (la señal obtenida tras la conversión de Pascales a dBA) en la banda de tercio de octava deseada. Esta sección se realiza entre las frecuencias “*Lower Cut Off*” y “*Upper Cut Off*” obtenidas del SubVI anterior.

El tercer VI se trata de nuevo del VI “*SVL Leq Sound Level*”, explicado anteriormente. Esta vez obtiene el nivel equivalente ponderado en A para la señal seccionada (*LAeq*), expresado en dBA.

Estos valores, en tercio de octava, se almacenan en una estructura de desarrollo propio denominada “*Array Measurements f*”. Esta estructura trata de un array de una dimensión que contiene un clúster de cuatro elementos. Estos elementos son la frecuencia central de la banda de tercio de octava, el valor de la medida para esa banda y las frecuencias de corte inferior y superior de la banda.

Estado “Analyze Freq.”

Este estado es el encargado de analizar, de manera frecuencial, la señal obtenida en el estado “*TR Meas.*”.

El objetivo general de este estado es obtener el Tiempo de Reverberación. Este se define como el tiempo necesario para que el nivel de presión sonora en una sala decaiga 60 dB una vez haya cesado la actividad de la fuente generadora de sonido, según lo explicado en el apartado 1.4 de esta memoria.

Para ello, la herramienta, analizará la caída de nivel observada en la señal capturada en el estado anterior y tratará la señal con el fin de volverla más lineal. Esto es debido a que, una vez conseguida una señal similar a una recta de pendiente negativa, se definirán dos niveles entre los cuales estimar dicha pendiente. Esta pendiente indica los dB que decae el nivel de la señal por segundo. A partir de ella se obtienen los segundos que tardaría la señal en decaer los 60 dB necesarios, obteniendo así el valor final del Tiempo de Reverberación.

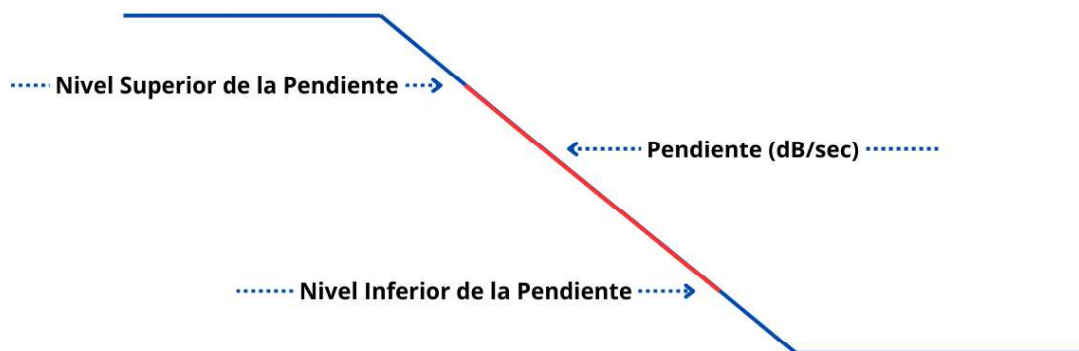


Figura 5-42. Método de cálculo del Tiempo de Reverberación.

Para ello se sirve de un SubVI de desarrollo propio denominado “*Analyze_TR_f_set_of_signals*”. Este SubVI necesita a su entrada la señal capturada previamente y dos valores que sirven de inicio y final para el cálculo de la pendiente necesaria en la estimación del Tiempo de Reverberación.

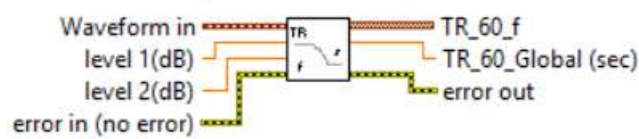


Figura 5-43. *Analyze_TR_f_set_of_signals* VI.

A continuación, se entra en detalle en el recién mencionado SubVI al considerarse código de relevancia.

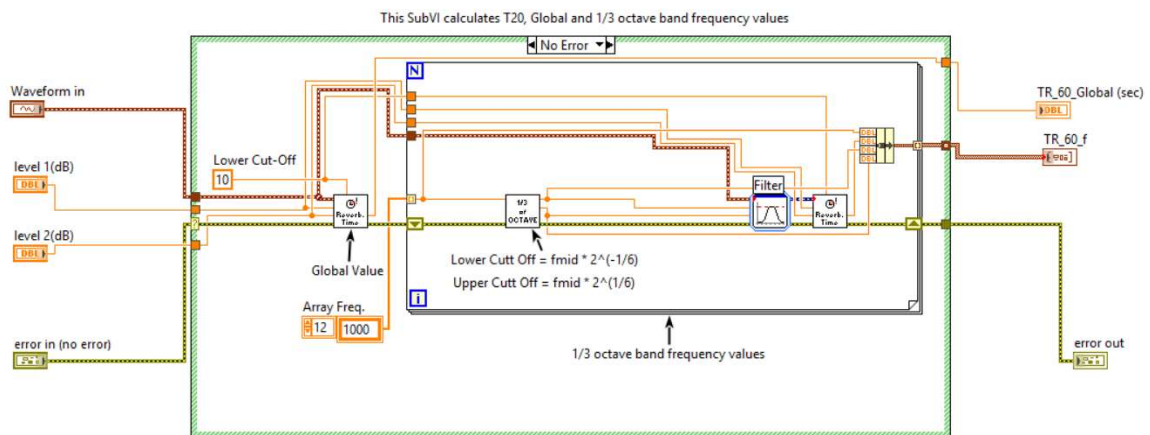


Figura 5-44. *Analyze_TR_f_set_of_signals* Block Diagram.

La estructura y funcionamiento de este SubVI es similar al anteriormente explicado “*Analyze_Sound_Pressure_Level*”. Consta de una primera parte en la que se calcula el valor global del Tiempo de Reverberación, usando para ello un SubVI de desarrollo propio denominado “*Analyze_TR_one_signal*”. Este SubVI necesita a la entrada, además de la señal capturada, dos referencias para el cálculo de la pendiente necesaria para obtener el Tiempo de Reverberación y un índice de frecuencia de corte superior para filtrar correctamente la señal. A su salida se obtiene la pendiente de caída (en dB/s), el Tiempo de Reverberación y la señal representada tratada y sin tratar.

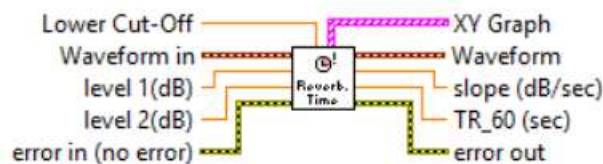


Figura 5-45. *Analyze_TR_one_signal* VI.

A continuación, se entra en detalle en el recién mencionado SubVI al considerarse código de relevancia.

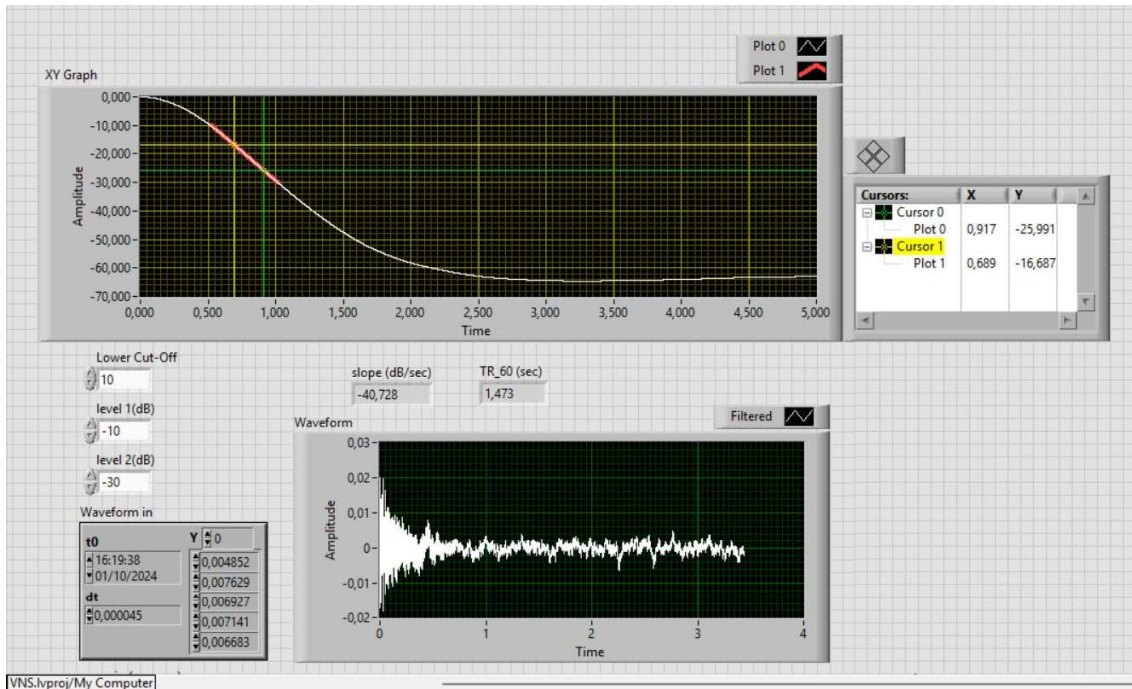


Figura 5-46. *Analyze_TR_one_signal* Front Panel.

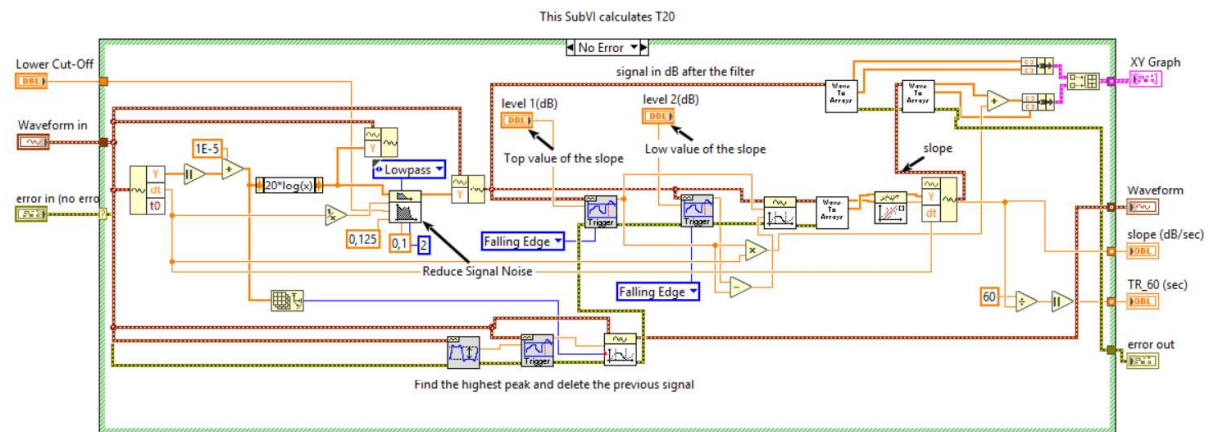


Figura 5-47. *Analyze_TR_one_signal* Block Diagram.

Con el diagrama de bloques de la Figura 5-47 se selecciona la zona de interés de la caída de la señal con el tiempo. Esta debe situarse en la parte lineal de la pendiente que se genera con la caída de nivel de presión sonora al interrumpir la generación del sonido reproducido. Gracias a encontrarse en la parte lineal se puede hacer una estimación de la pendiente a partir de la cual obtener el valor del Tiempo de Reverberación.

Regresando al código del SubVI “*Analyze_TR_f_set_of_signals*”, la siguiente parte que se encuentra realiza el cálculo del Tiempo de Reverberación para cada banda de frecuencia en tercios de octava. Para ello utiliza un bucle que se repite tantas veces como bandas de frecuencias se necesitan calcular. En él se lleva a cabo el cálculo de las frecuencias de corte inferior y superior para la banda de tercio de octava en cuestión, empleando el SubVI anteriormente explicado de “*1_3 of Octave (SubVI)*” seguido de un filtro que secciona la señal original entre las frecuencias de corte calculadas. Por último, se encuentra de nuevo el SubVI previamente explicado de “*Analyze_TR_one_signal*” para llevar a cabo el cálculo del Tiempo de

Reverberación en la banda de frecuencia en cuestión. Los valores de Tiempo de Reverberación para cada banda en cuestión, así como su frecuencia centra y frecuencias de corte inferior y superior, se almacenan en la estructura de desarrollo propio denominada “*Array Measurements f*” explicada anteriormente.

Estado “Save File”

Se trata del estado encargado de almacenar las medidas realizadas y la información asociada a ellas. Para ello genera una ruta determinada empleando un SubVI de desarrollo propio denominado “*Make Filename (SubVI)*” que necesita a su entrada la información contenida en el apartado “*Test Data*” y la ruta dónde se pretenden almacenar las medidas, especificada por el usuario.

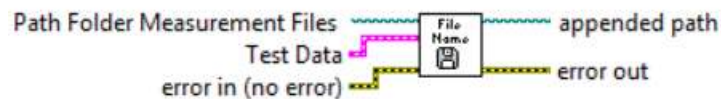


Figura 5-48. *Make Filename (SubVI) VI*.

Una vez creada la ruta de destino, la información que se almacena es un clúster de tres elementos formado por la estructura de “*Test Data*” con toda su información asociada, la estructura “*Measurement f*” con su información y un indicador numérico con el valor global de la medida en cuestión. El formato de fichero utilizado es Datalog File, que es un fichero binario que permite salvar clúster de datos de forma organizada y eficiente [32].

En el caso de ya existir una medida de las mismas características, se pedirá una confirmación por parte del usuario antes de sobrescribirla.

Estado “Show Measurements”

Este estado presenta los resultados de la medición recientemente realizada de forma numérica y gráfica. En este estado aparece relleno de información un clúster de tres elementos, entre los que se encuentra la estructura “*Test Data*”, la estructura “*Measurement f*” y un indicador numérico con el valor global de la medida. Además, aparece una gráfica en la que se muestra el resultado en frecuencia de la medición efectuada.

En el momento de acceder a este estado, el VI guía al usuario automáticamente a la segunda pestaña del *Front Panel*, denominada “*Obtained Measurement*”.

Estado “Quit”

A este estado se accede accionando el botón “*QUIT*”. Este pone a “*true*” un booleano que comanda el fin del bucle while que mantiene en funcionamiento la máquina de estados, haciendo que el programa finalice.

5.4.2 READ_Sound_Measurements_File

El presente VI es el encargado de mostrar al usuario las medidas realizadas por el VI descrito en el apartado anterior.

En la interfaz que se muestra al usuario se encuentra una sección en la que poder seleccionar la ruta donde se encuentra la medida que se pretende visualizar.

Estas medidas son mostradas de forma gráfica al usuario en tiempo y en frecuencia en diferentes pestañas. Se puede acceder individualmente al valor en forma numérica de cada banda frecuencial en tercio de octava de la medida en cuestión. A su vez se muestra otra información relativa a la medida, como el tipo de medida realizada (Nivel de presión sonora en cada uno de los recintos, tiempo de reverberación o nivel de ruido de fondo), la identificación y dirección del ensayo, comentarios acerca del mismo, el nombre del técnico que realizó la medida e información relacionada con la configuración del canal de adquisición de datos. La información relacionada con la medida que se muestra al usuario es posible modificarla y guardarla de nuevo junto a la medida, excepto la configuración asociada al canal de adquisición de datos.

La interfaz que se muestra al usuario se presenta a continuación.

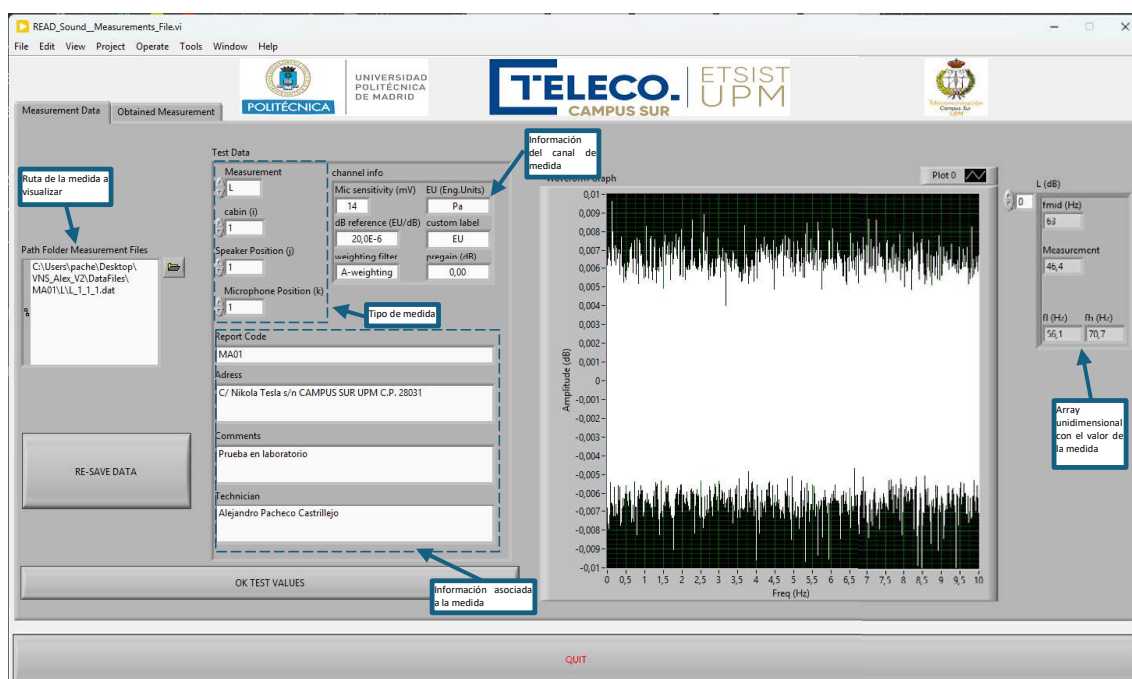


Figura 5-49. Front Panel del VI "READ_Sound_Measurements_File" Pestaña 1.

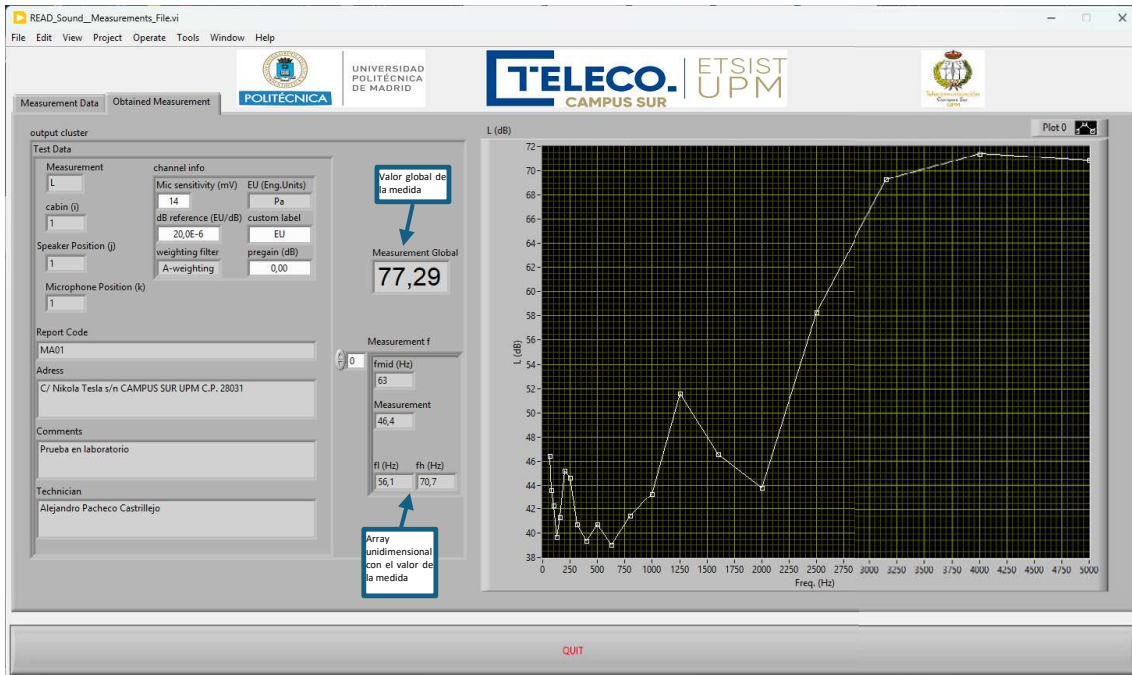


Figura 5-50. Front Panel del VI "READ_Sound_Measurements_File" Pestaña 2.

Para llevar a cabo su funcionamiento, el código desarrollado en LabVIEW™ se ha estructurado en una máquina de estados, cuyo diagrama de bloques se muestra a continuación.

READ_Sound_Measurements_File

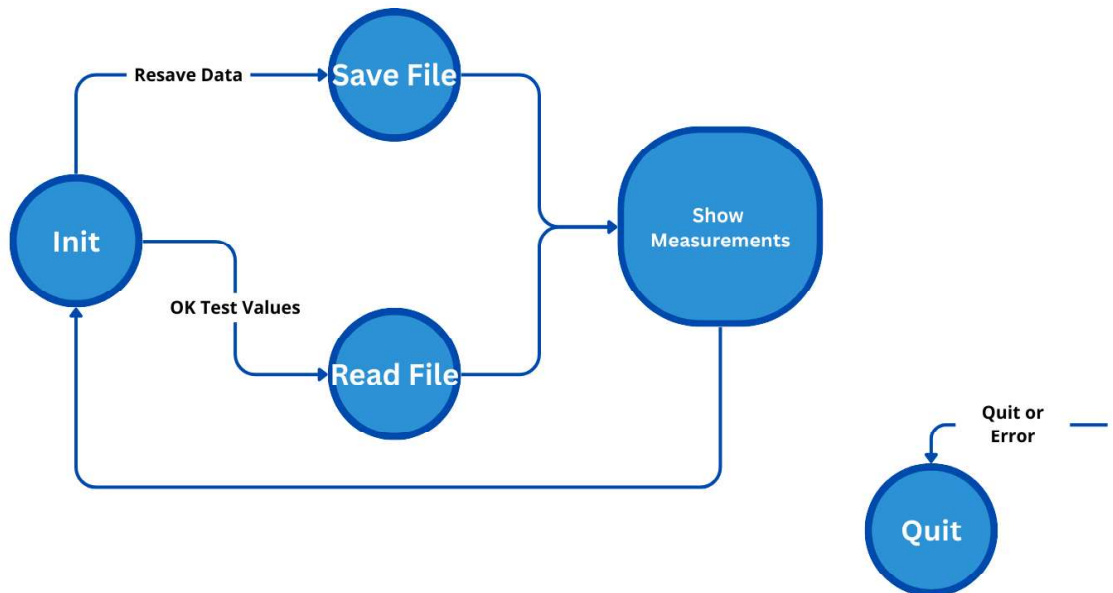


Figura 5-51. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI "READ_Sound_Measurements_File".

Para la correcta implementación de la máquina de estados detallada en el diagrama de bloques anterior, se han desarrollado los siguientes SubVIs. Estos SubVIs se explicarán en detalle en la descripción de cada estado.

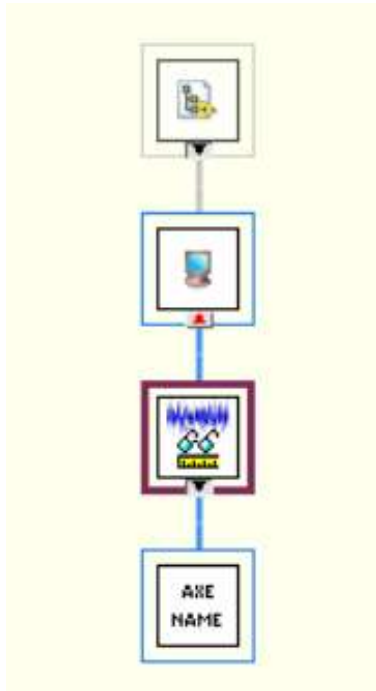


Figura 5-52. Árbol de jerarquías del VI "READ_Sound_Measurements_File"

Estado "Init"

Se trata del estado inicial de la máquina de estados diseñada. Previo a la puesta en marcha del VI se establecen las condiciones de contorno que son las siguientes.

- Se selecciona la ruta donde encontrar el archivo que se desea visualizar.
- Se habilitan los botones que servirán de interacción con el usuario.
- Se adaptan los ejes de las gráficas al tipo de información que se va a representar.

De este estado se puede acceder a dos estados diferentes.

- Estado "Read File". Accionando el botón de "OK TEST VALUES".
- Estado "Save File". Accionando el botón de "RESAVE DATA".

Siempre que se accione el botón "QUIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "Read File"

A este estado se accede tras seleccionar la ruta dónde se encuentra el archivo que se desea leer y accionar el botón "OK TEST VALUES". En este estado se lee el archivo de medida seleccionado previamente. Tras su lectura se almacenan los valores deseados en las diferentes estructuras que presenta el VI.

De este estado se accede directamente al estado "Show Measurements", a no ser que se accione el botón de "QUIT" que lleva al estado del mismo nombre y finaliza la ejecución.

Estado "Save File"

En este estado se almacena la medida visualizada con los cambios en la información asociada a ella que el usuario haya realizado. Para ello utiliza un proceso muy similar al estado del mismo nombre del VI *"MAKE_Sound_Measurements"*.

De este estado se accede directamente al estado *"Show Measurements"*, a no ser que se accione el botón de *"QUIT"* que lleva al estado del mismo nombre y finaliza la ejecución.

Estado *"Show Measurements"*

Este estado presenta los resultados del archivo seleccionado de forma numérica y gráfica. La estructura y funcionamiento a nivel de código y usuario es muy similar al estado del mismo nombre del VI *"MAKE_Sound_Measurements"*.

En el momento de acceder a este estado, el VI guía al usuario automáticamente a la segunda pestaña del *Front Panel*, denominada *"Obtained Measurement"*.

Estado *"Quit"*

A este estado se accede accionando el botón *"QUIT"*. Este pone a *"true"* un booleano que comanda el fin del bucle *while* que mantiene en funcionamiento la máquina de estados, haciendo que el programa finalice.

5.4.3 VIEW_Sound_Test_Results

Este VI es el encargado de leer los datos de medida almacenados, procesarlos, realizar el cálculo normativo y llevar a cabo la presentación final de los resultados del ensayo.

Para poner en marcha las acciones descritas, el VI presenta varios apartados donde indicar las rutas que albergan los datos medidos, los espectros necesarios para llevar a cabo el cálculo normativo y los valores de la incertidumbre necesarios para la presentación de resultados. A su vez, son necesarios otros factores como el límite de dB máximo entre bandas de tercio de octava adyacentes en los valores de L_1 , junto con el volumen del recinto receptor y el área del elemento separador.

Una vez terminada la ejecución del VI se muestran por pantalla los resultados del ensayo, tanto gráfica como numéricamente. Se puede observar de manera individual, en una tabla, el valor en bandas de tercio de octava de la diferencia de niveles estandarizada y del índice de reducción acústica aparente junto a su incertidumbre. A su vez, se observa la representación gráfica en frecuencia de ambos índices. También, se muestran los valores de varios índices complementarios. Por último, se presenta un indicador donde consultar el número de veces que se ha superado el límite de dB entre bandas adyacentes en los valores de L_1 .

La interfaz de usuario que presenta este VI es la siguiente.

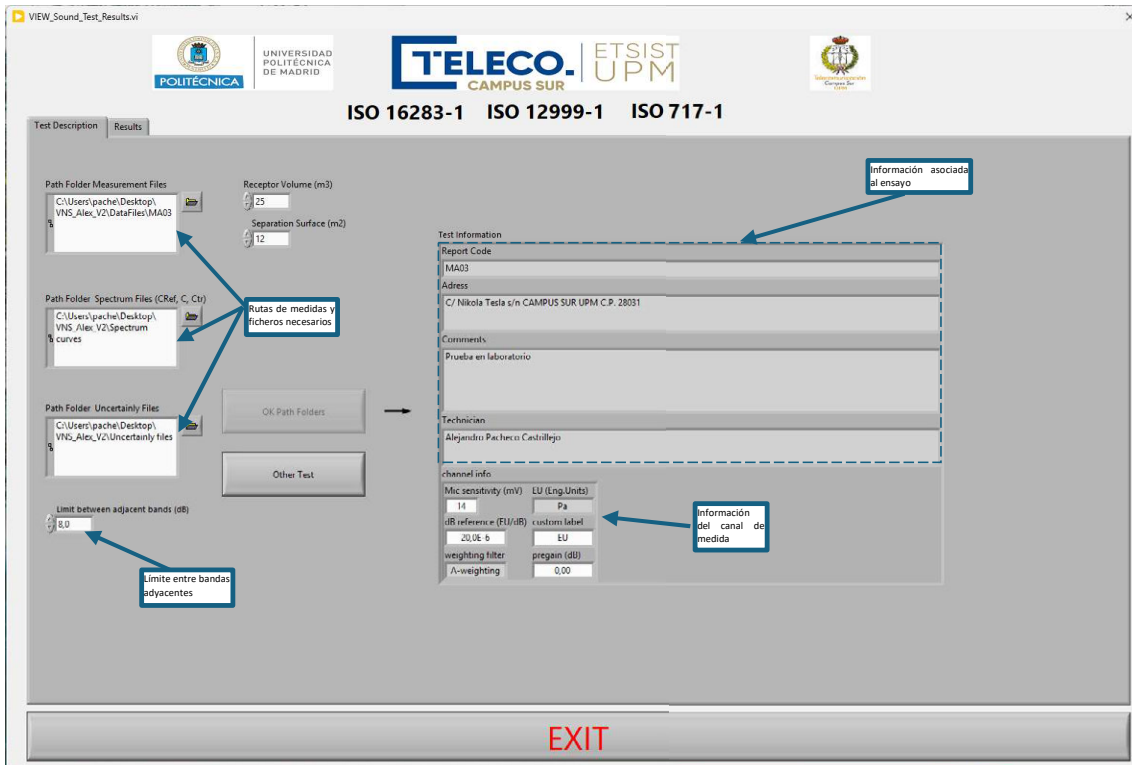


Figura 5-53. Front Panel del VI "VIEW_Sound_Test_Results" Pestaña 1.

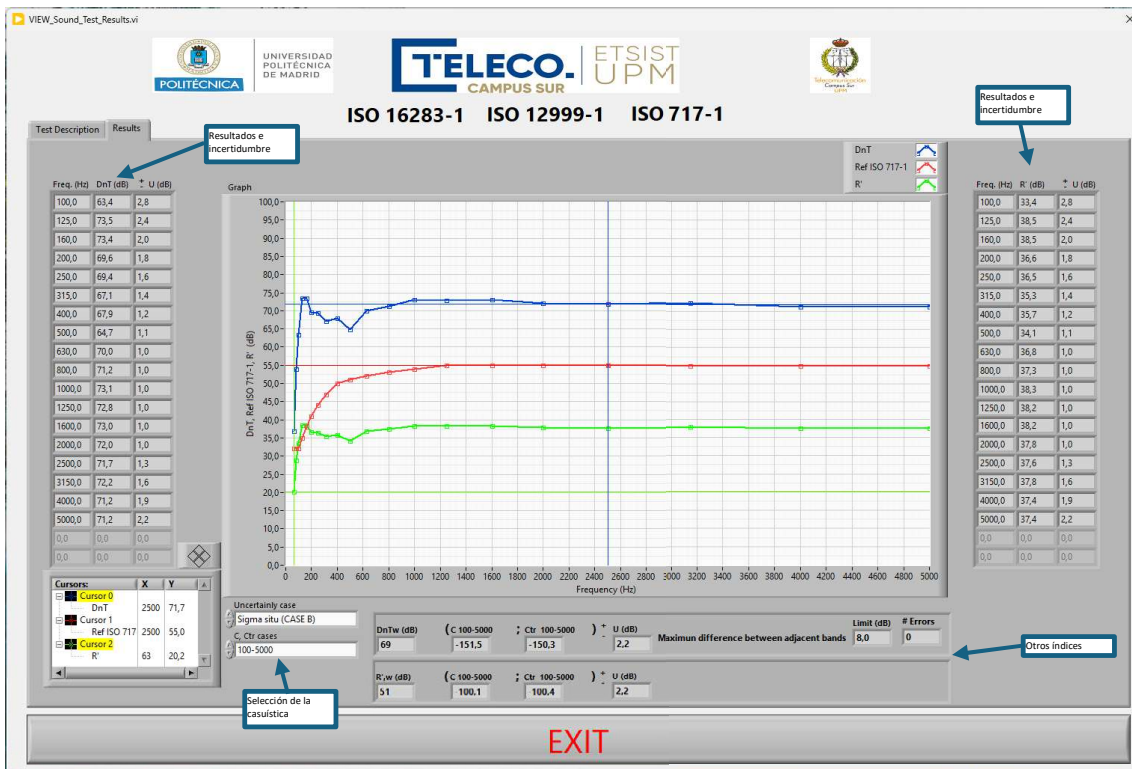


Figura 5-54. Front Panel del VI "VIEW_Sound_Test_Results" Pestaña 2.

Para llevar a cabo su funcionamiento, el código desarrollado en LabVIEW™ se ha estructurado en una máquina de estados, cuyo diagrama de bloques se muestra a continuación.

VIEW_Sound_Test_Results

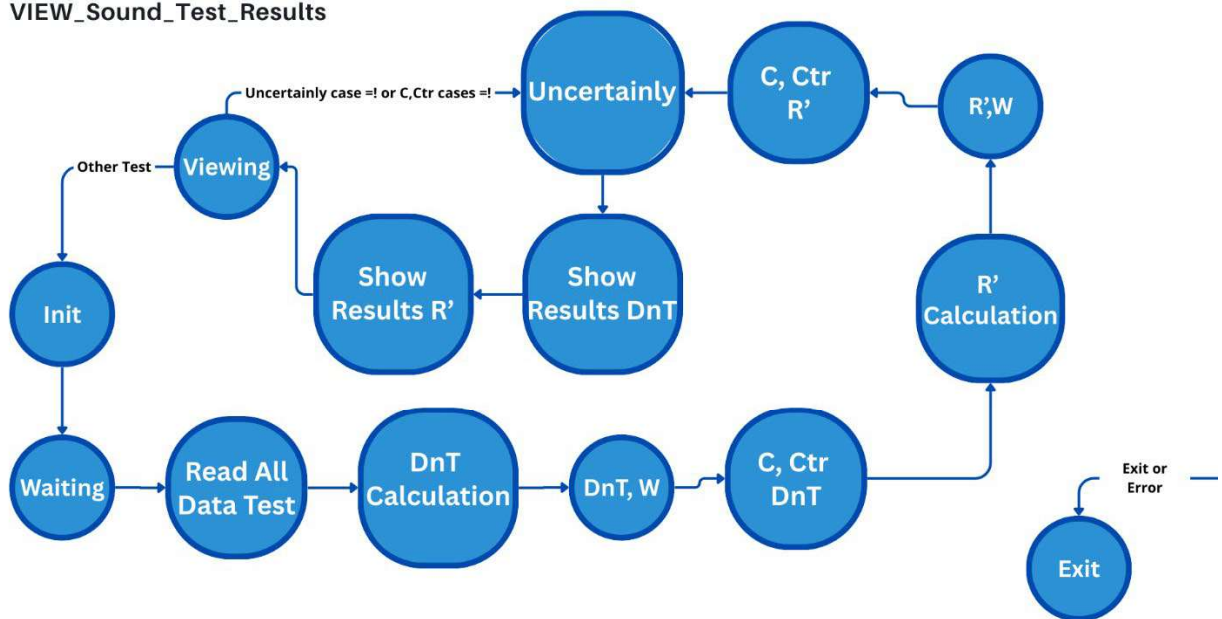


Figura 5-55. Diagrama de bloques de la máquina de estados del VI "VIEW_Sound_Test_Results".

Para la correcta implementación de la máquina de estados detallada en el diagrama de bloques anterior, se han desarrollado los siguientes SubVIs. Estos SubVIs se explicarán en detalle en la descripción de cada estado.

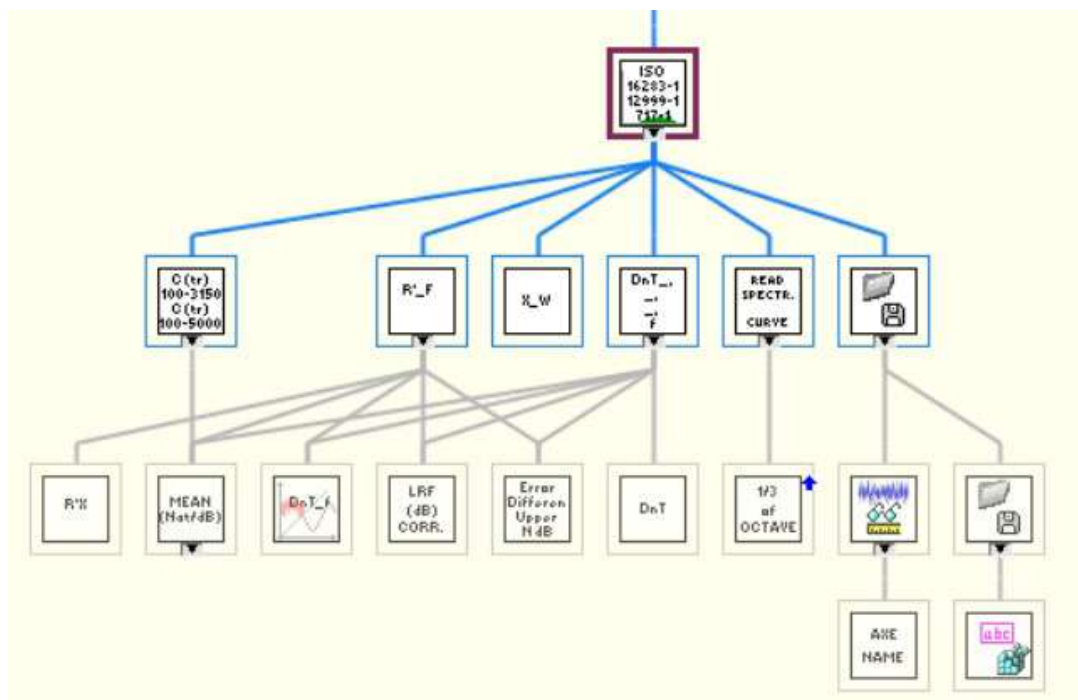


Figura 5-56. Árbol de jerarquías del VI "VIEW_Sound_Test_Results"

Estado "Init"

Se trata del estado inicial de la máquina de estados diseñada. Previo a la puesta en marcha del VI se establecen las condiciones de contorno que son las siguientes.

- Se seleccionan las rutas donde encontrar los archivos necesarios para el funcionamiento del VI.
- Se habilitan los botones que servirán de interacción con el usuario.
- Su ubica al usuario en la primera pestaña de la interfaz.
- El usuario inserta los valores en que el VI le pide en los controles destinados a ello.

De este estado se accede al estado “*Waiting*”.

Siempre que se accione el botón “*EXIT*” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “*Waiting*”

DEFINIR BIEN EL ESTADO

Tras accionar el botón “*OK Path Folders*” se accede al estado “*Read All Data Test*”.

Siempre que se accione el botón “*EXIT*” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “*Read All Data Test*”

Este estado es el encargado de leer los datos almacenados en las rutas indicadas por el usuario. De estos se extraen los valores capturados en el proceso de medición necesarios para el cálculo normativo y la información de la medición asociada a ellos. Para ello hace uso de un SubVI de desarrollo propio denominado “*Read_All_Files_Test_Data*”. Este SubVI entrega a su salida los valores del proceso de medición almacenados y la información asociada al proceso. Para ello hace uso de varios SubVIs de desarrollo propio. Estos son “*Read Folders and Files names*” (encargado de entregar a su salida las diferentes rutas y nombres de archivos necesarios) y “*READ_Sound_Measurements_file_(SubVI)*”. Este último SubVI presenta exactamente el mismo comportamiento y estructura que el VI “*READ_Sound_Measurements_File*” previamente explicado. La diferencia reside en que este SubVI no necesita la interacción del usuario para funcionar.

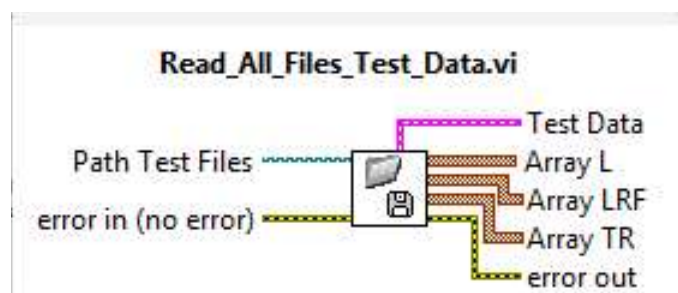


Figura 5-57. “*Read_All_Files_Test_Data*”SubVI.

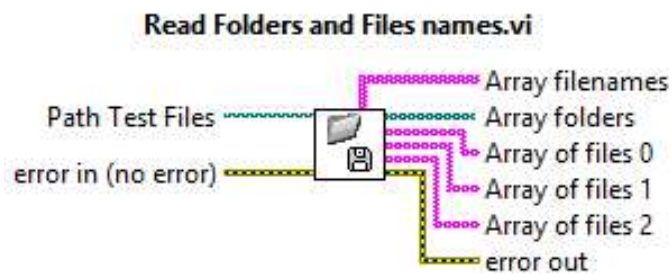


Figura 5-58. "Read Folders and Files names"SubVI.

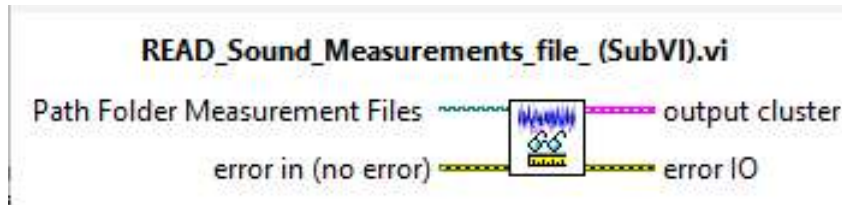


Figura 5-59. "READ_Sound_Measurements_file_(SubVI)"SubVI.

De este estado se accede al estado "DnT Calculation".

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "DnT Calculation"

Este estado es el encargado de realizar los procedimientos y el cálculo normativo para la obtención de la diferencia de niveles estandarizada. Este estado se encarga de aplicar lo explicado en el apartado 5.3.2 tanto procedimientos como cálculos.

Para ello se apoya en varios SubVIs de desarrollo propio. El primero de ellos es "Dnt _ _ _ f" el cual es el encargado de entregar a su salida el valor final de la diferencia de niveles estandarizada. Para ello emplea otros SubVIs que llevan a cabo las diferentes partes del proceso.

El primero de ellos que se ha de mencionar es "Background_Noise_Correction". Este SubVI es el encargado de aplicar el proceso de corrección del nivel de presión sonora en el recinto receptor (L_2) por nivel de ruido de fondo (LRF) detallado en el apartado 5.3.2, así como de aplicar la Ecuación 5-4, Ecuación 5-5 o Ecuación 5-6 según el caso.

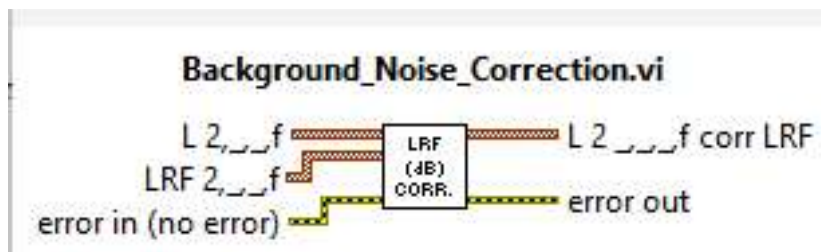


Figura 5-60. "Background_Noise_Correction"SubVI.

Otro SubVI a destacar es "Difference Level Error (dB)" que es el encargado de comprobar que las diferencias de nivel entre bandas de tercio de octava adyacentes no excedan el límite establecido a su entrada

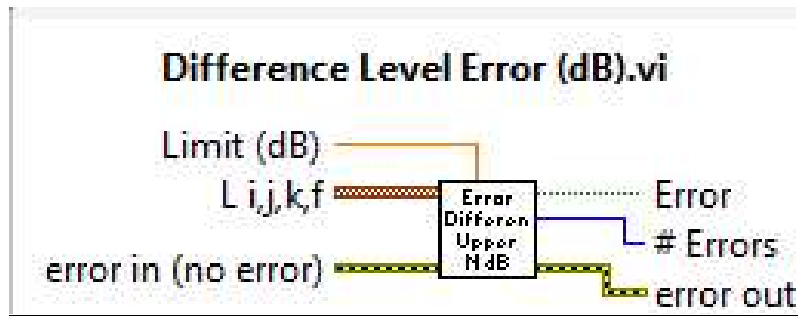


Figura 5-61. "Difference Level Error (dB)" SubVI.

También se encuentra el SubVI "DnT_calculus" encargado de aplicar la Ecuación 1-1 y la Ecuación 1-2. Por último se encuentra el SubVI "DnT-R' Total" encargado de aplicar la Ecuación 5-7.

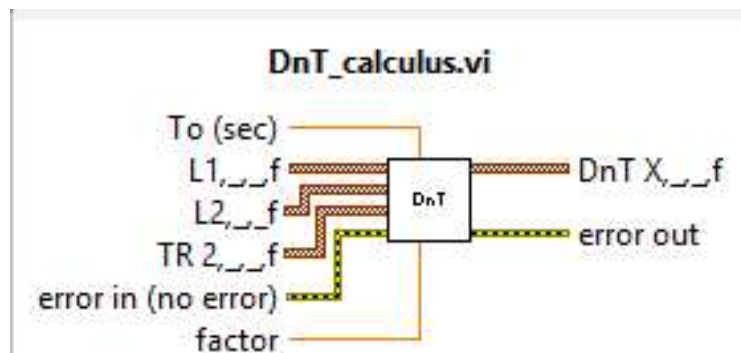


Figura 5-62. "DnT_calculus" SubVI.

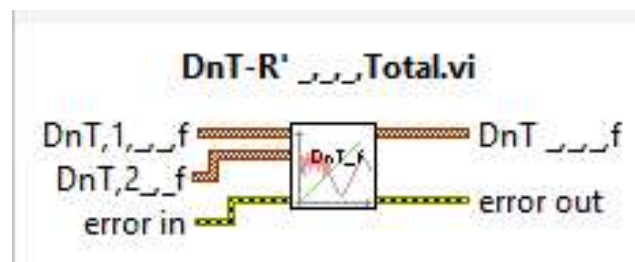


Figura 5-63. "DnT-R' Total" SubVI.

De este estado se accede al estado "DnT,w".

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "DnT,w"

Este estado es el encargado de realizar los cálculos y los procesos normativos para la obtención de la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$. Para ello lleva a cabo el procedimiento detallado en el fragmento de obtención de la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ y del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_w según la norma UNE-EN ISO 717-1 expuesto en el apartado 5.3.2 de esta memoria. En este caso se emplea este procedimiento referido a la diferencia de nivel estandarizada. Análisis y cálculos a realizar por la herramienta

Para ello hace uso de dos SubVIs de desarrollo propio. El primero de ellos, denominado “*Read Spectrum*”, es el encargado de leer de un fichero de texto el espectro necesario para llevar a cabo los cálculos. El segundo SubVI, denominado “*X_w*”, es el encargado de llevar a cabo el cálculo normativo anteriormente explicado.

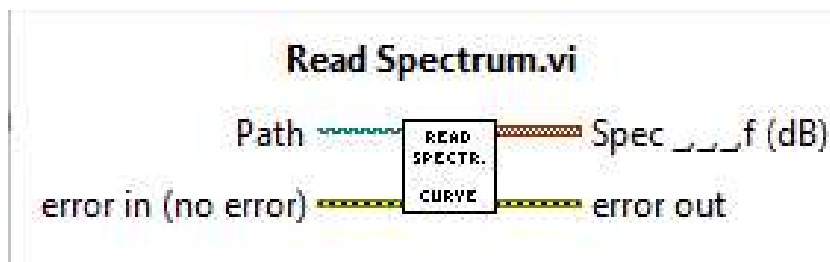


Figura 5-64. “*Read Spectrum*” SubVI.

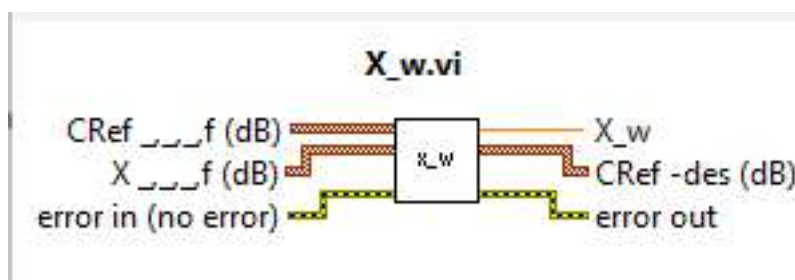


Figura 5-65. “*X_w*” SubVI.

De este estado se accede al estado “*C,Ctr DnT*”.

Siempre que se accione el botón “*EXIT*” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “*C,Ctr DnT*”

Este estado es el encargado de realizar los procedimientos y cálculos necesarios para obtener el valor de los índices C y C_{tr} referidos a la diferencia de niveles estandarizada. Este procedimiento normativo aparece detallado en el fragmento obtención de los términos de adaptación espectral C y C_{tr} referidos a $D_{nT,w}/R'_w$ conforme a la norma UNE-EN ISO 717-1 del apartado 5.3.2 de esta memoria.

Para ello hace uso de un SubVI de desarrollo propio, denominado “*C (tr) index*”, encargado de otorgar a su salida el valor del índice deseado en entre los dos disponibles en el rango de 100 a 5000 Hz y de 100 a 3150 Hz.

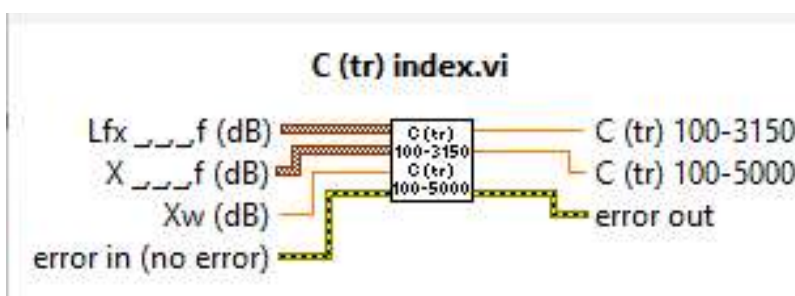


Figura 5-66. “*C (tr) index*” SubVI.

Previo a este SubVI se encuentra el SubVI “Read Spectrum” explicado en el estado anterior, esta vez encargado de leer el espectro necesario para el cálculo del índice deseado.

De este estado se accede al estado “R’ Calculation”.

Siempre que se accione el botón “EXIT” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “R’ Calculation”

Este estado es el encargado de realizar los procedimientos y el cálculo normativo para la obtención del índice de reducción acústica aparente. Este estado se encarga de aplicar lo explicado en el apartado 5.3.2 tanto procedimientos como cálculos.

El funcionamiento y estructura de este estado es similar al del estado “DnT Calculation”. Para la ejecución de los cálculos y procedimientos emplea el SubVI de desarrollo propio “R’_f”. El funcionamiento y estructura de este SubVI es idéntico al del SubVI “Dnt_f” salvo por un proceso de cálculo. Este proceso sustituye el SubVI encargado de nombre “DnT_calculus” encargado de aplicar la Ecuación 1-1 y la Ecuación 1-2, por el SubVI de desarrollo propio denominado “R’_calculus”. Este SubVI es el encargado de aplicar la Ecuación 1-1 y la Ecuación 1-4. El resto del código es idéntico, con la diferencia de otorgar a su salida el valor del índice de reducción acústica aparente final.

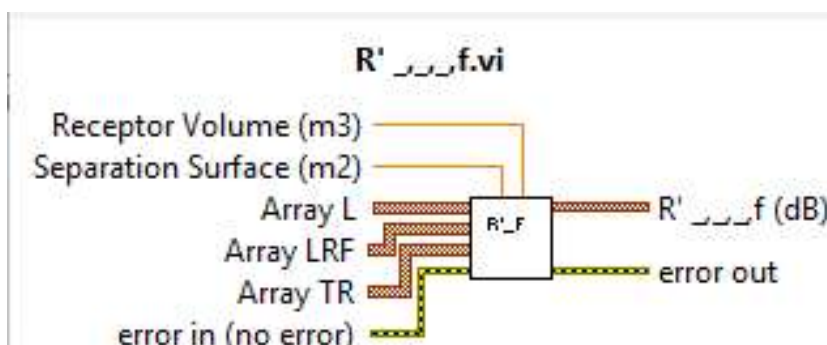


Figura 5-67. “R’_f” SubVI.

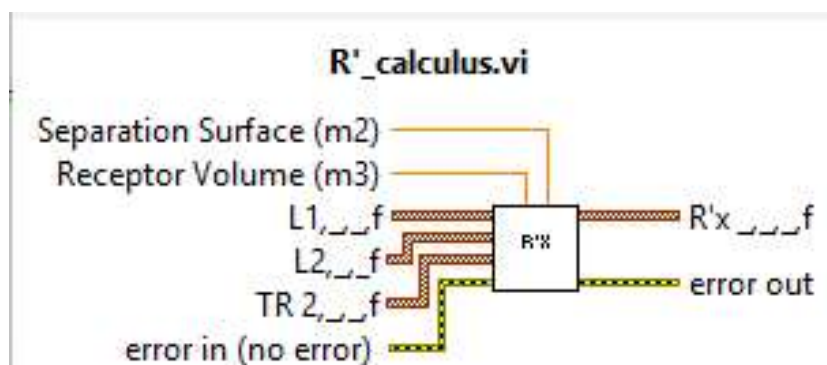


Figura 5-68. “R’_calculus” SubVI.

De este estado se accede al estado “Rw”.

Siempre que se accione el botón “EXIT” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “Rw”

Este estado es el encargado de realizar los cálculos y los procesos normativos para la obtención del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_w . Para ello lleva a cabo el procedimiento detallado en el fragmento de obtención de la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ y del índice de reducción acústica aparente ponderado R'_w según la norma UNE-EN ISO 717-1 expuesto en el apartado 5.3.2 de esta memoria. En este caso se emplea este procedimiento referido al índice de reducción acústica aparente.

El funcionamiento y la estructura de este estado y de los SubVIs empleados en él es idéntica a la del estado “DnT,w”. La única diferencia es el empleo como referencia del valor del índice de reducción acústica aparente en lugar de la diferencia de niveles estandarizada. Análisis y cálculos a realizar por la herramienta

De este estado se accede al estado “C,Ctr R”

Siempre que se accione el botón “EXIT” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “C,Ctr R”

Este estado es el encargado de realizar los procedimientos y cálculos necesarios para obtener el valor de los índices C y C_{tr} referidos al índice de reducción acústica aparente. Este procedimiento normativo aparece detallado en el fragmento obtención de los términos de adaptación espectral C y C_{tr} referidos a $D_{nT,w}/R'_w$ conforme a la norma UNE-EN ISO 717-1 del apartado 5.3.2 de esta memoria.

El funcionamiento y la estructura de este estado y de los SubVIs empleados en él es idéntica a la del estado “C,Ctr DnT”. La única diferencia es el empleo como referencia del valor del índice de reducción acústica aparente en lugar de la diferencia de niveles estandarizada. Análisis y cálculos a realizar por la herramienta

De este estado se accede al estado “Uncertainly”.

Siempre que se accione el botón “EXIT” se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado “Uncertainly”

Este estado es el encargado de leer de unos ficheros de texto, el valor de la incertidumbre asociada al proceso de medida y a los resultados del presente ensayo según la norma UNE-EN ISO 12999-1. Este estado se encarga de obtener la incertidumbre detallada en el apartado 5.3.3 de esta memoria. Pudiendo seleccionar el archivo que aplica el factor de cobertura que garantiza un nivel de confianza del 95% o el que no lo aplica.

Para leer de los ficheros de texto hace uso del SubVI anteriormente explicado “Read Spectrum”. Este estado se encarga también de aplicar la incertidumbre adecuada a los índices C y C_{tr} según el caso que seleccione el usuario.

De este estado se accede al estado “Show Results DnT”.

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "Show Results DnT"

Este estado es el encargado de mostrar de manera gráfica y numérica los resultados del ensayo relativos a la diferencia de niveles estandarizada junto con su incertidumbre.

Para ello guía al usuario a la segunda pestaña del VI donde se observa la gráfica con los resultados gráficos y una tabla con los resultados numéricos según la frecuencia. A parte se encuentran también los resultados del resto de índices relativos a la diferencia de niveles estandarizada.

De este estado se accede al estado "Show Results R".

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "Show Results R"

Este estado es el encargado de mostrar de manera gráfica y numérica los resultados del ensayo relativos al índice de reducción acústica aparente junto con su incertidumbre.

Para ello guía al usuario a la segunda pestaña del VI donde se observa la gráfica con los resultados gráficos y una tabla con los resultados numéricos según la frecuencia. A parte se encuentran también los resultados del resto de índices relativos al índice de reducción acústica aparente.

De este estado se accede al estado "Viewing".

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "Viewing"

Este estado se encarga de permitir al usuario la visualización de todos los resultados del ensayo. Para ello permite al usuario desplazarse libremente por las pestañas del VI observando detalladamente los resultados obtenidos.

Se permanece en este estado a no ser que el usuario cambie de manera intencionado el tipo de incertidumbre deseada o el rango de frecuencias que desea visualizar para el caso de los índices C y C_{tr} y de los valores de la tabla de resultados asociados a D_{nT} y R . En esta circunstancia se accede de nuevo al estado "Uncertainly".

Otra acción que lleva a un cambio de estado es la pulsación por parte del usuario del botón "Other Test" que lleva al estado "Init".

Siempre que se accione el botón "EXIT" se accederá al estado del mismo nombre finalizando la ejecución del programa.

Estado "Exit"

A este estado se accede accionando el botón “EXIT”. Este pone a “true” un booleano que comanda el fin del bucle while que mantiene en funcionamiento la máquina de estados, haciendo que el programa finalice.

6 RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras la realización del proceso completo de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos con la herramienta desarrollada.

6.1 Resultados del proceso de medición

Para llevar a cabo este proceso se hace uso del VI de la herramienta “MAKE_Sound_Measurements”.

Por simplicidad y para evitar procesos redundantes se realiza una medición de cada tipo de datos permitido por la herramienta (*L*, *LRF* y *TR*).

Adquisición de la medida tipo *L*

Para esta parte se ha de especificar la ruta del archivo que se emplea como fuente de ruido interrumpida en la medida del Tiempo de Reverberación y la ruta del lugar donde se desean almacenar las medidas. También, es necesario ajustar el volumen de generación del ruido rosa que se usará en las medidas de tipo *L*. A su vez, se ha de rellenar la información asociada al ensayo (como la tarjeta de sonido a utilizar o los niveles entre los cuales calcular la pendiente del Tiempo de Reverberación, entre otros). Por último, se especifica el tipo de medida a realizar.

En este caso se selecciona en el apartado “Measurement” el tipo *L*, en el apartado “cabin” el número 1, en el apartado “Speaker Position” el número 1 y en el apartado “Microphone Position” el número 1. Con ello se obtiene la configuración para una medida de nivel de emisión L_1 para la primera posición de fuente y primera posición de micrófono.

Obteniendo así los siguientes resultados:

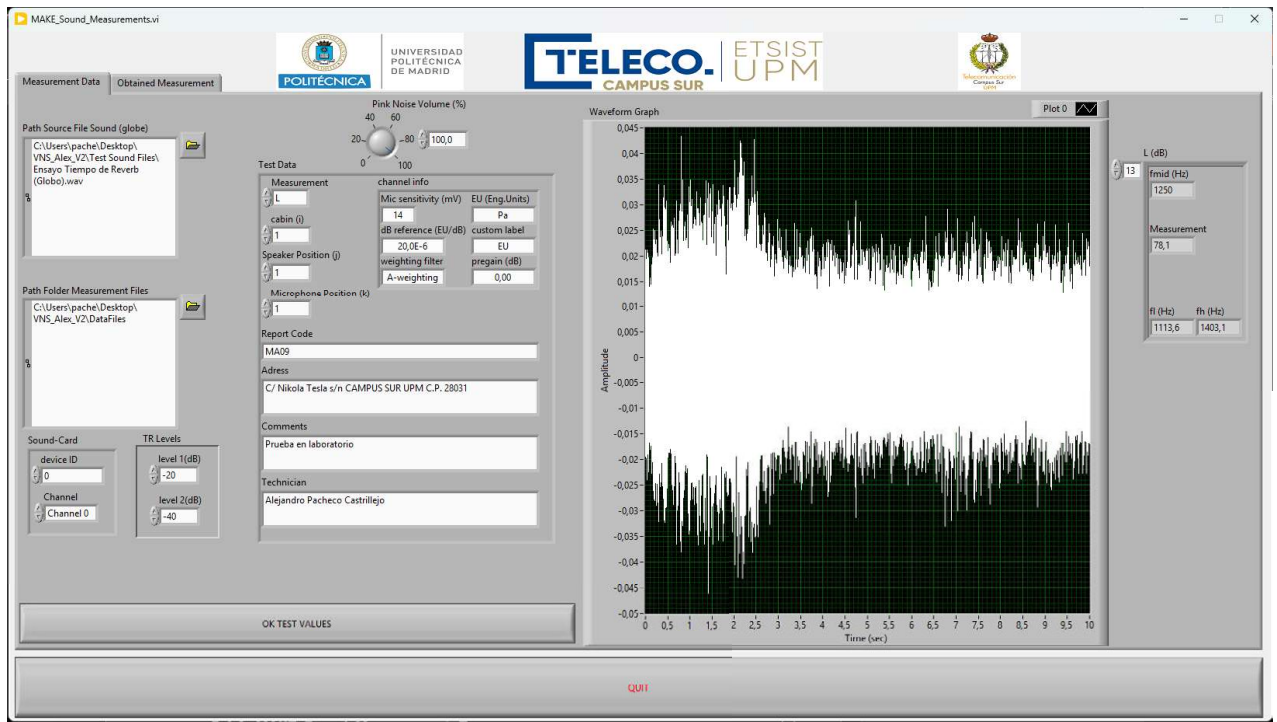


Figura 6-1. Resultados de la medida de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en tiempo.

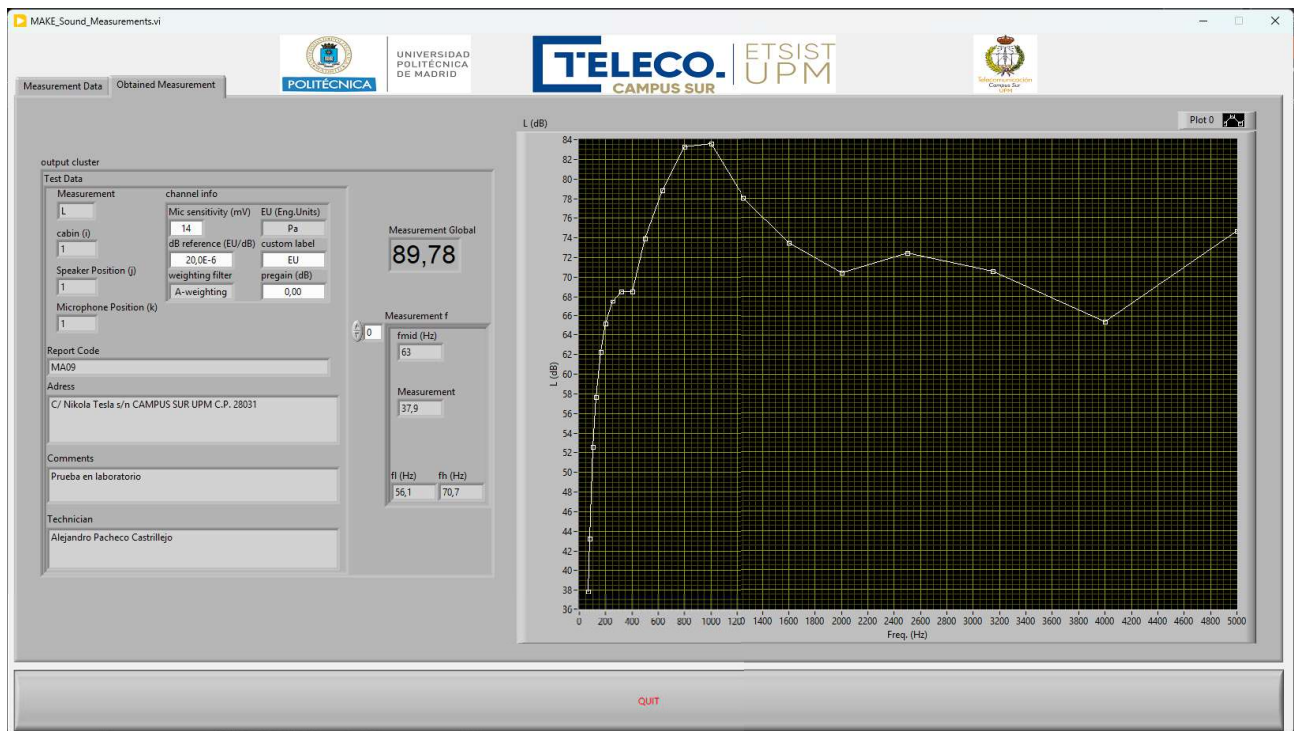


Figura 6-2. Resultados de la medida de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en frecuencia.

Adquisición de la medida tipo LRF

El proceso de configuración inicial es el mismo que para la medida anterior.

En este caso se selecciona en el apartado “Measurement” el tipo *LRF*, en el apartado “cabin” el número 2, en el apartado “Speaker Position” el número 1 y en el apartado “Microphone Position” el número 1. Con ello se obtiene la configuración para una medida de nivel de ruido de fondo *LRF* para la primera posición de micrófono.

Obteniendo así los siguientes resultados:

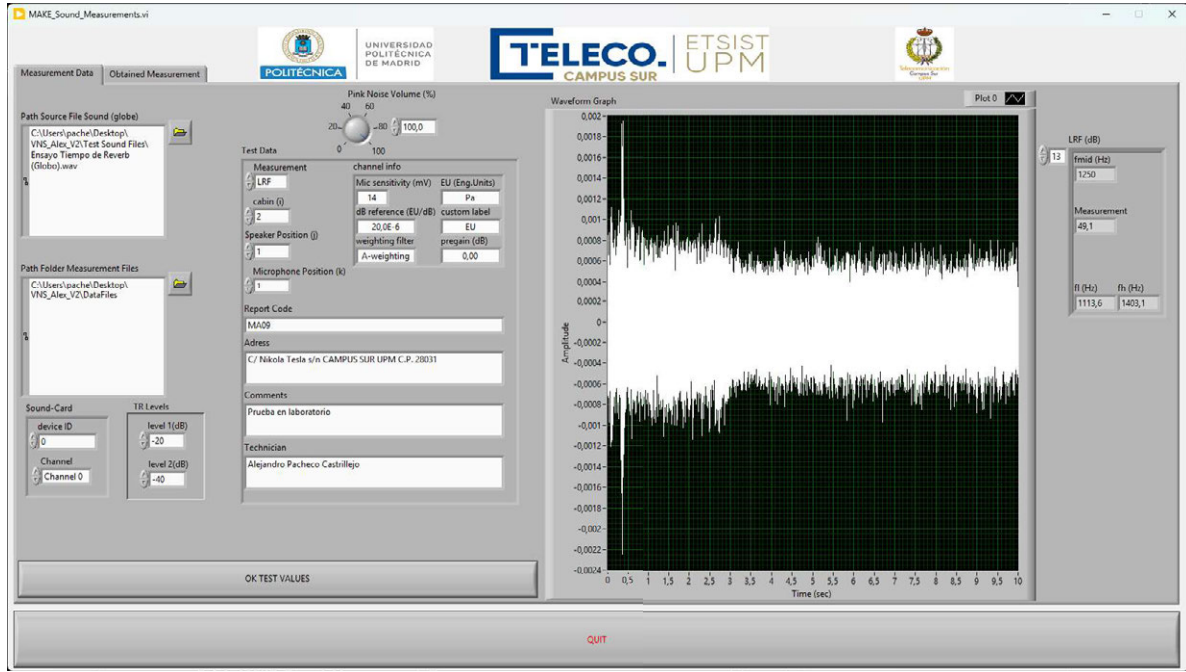


Figura 6-3. Resultados de la medida de nivel de ruido de fondo para la primera posición de micrófono en tiempo.

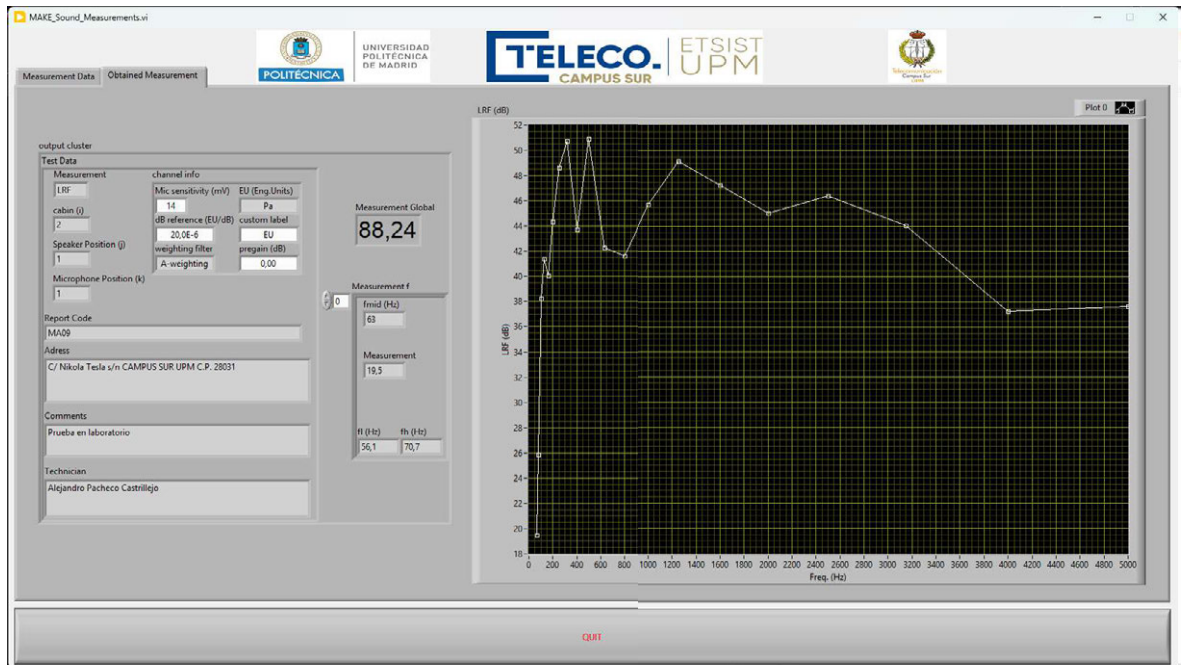


Figura 6-4. Resultados de la medida de nivel de ruido de fondo para la primera posición de micrófono en frecuencia.

Adquisición de la medida tipo TR

El proceso de configuración inicial es el mismo que para la medida anterior.

En este caso se selecciona en el apartado “Measurement” el tipo TR, en el apartado “cabin” el número 2, en el apartado “Speaker Position” el número 1 y en el apartado “Microphone Position” el número 1. Con ello se obtiene la configuración para una medida de Tiempo de Reverberación TR para la primera posición de micrófono.

Obteniendo así los siguientes resultados:

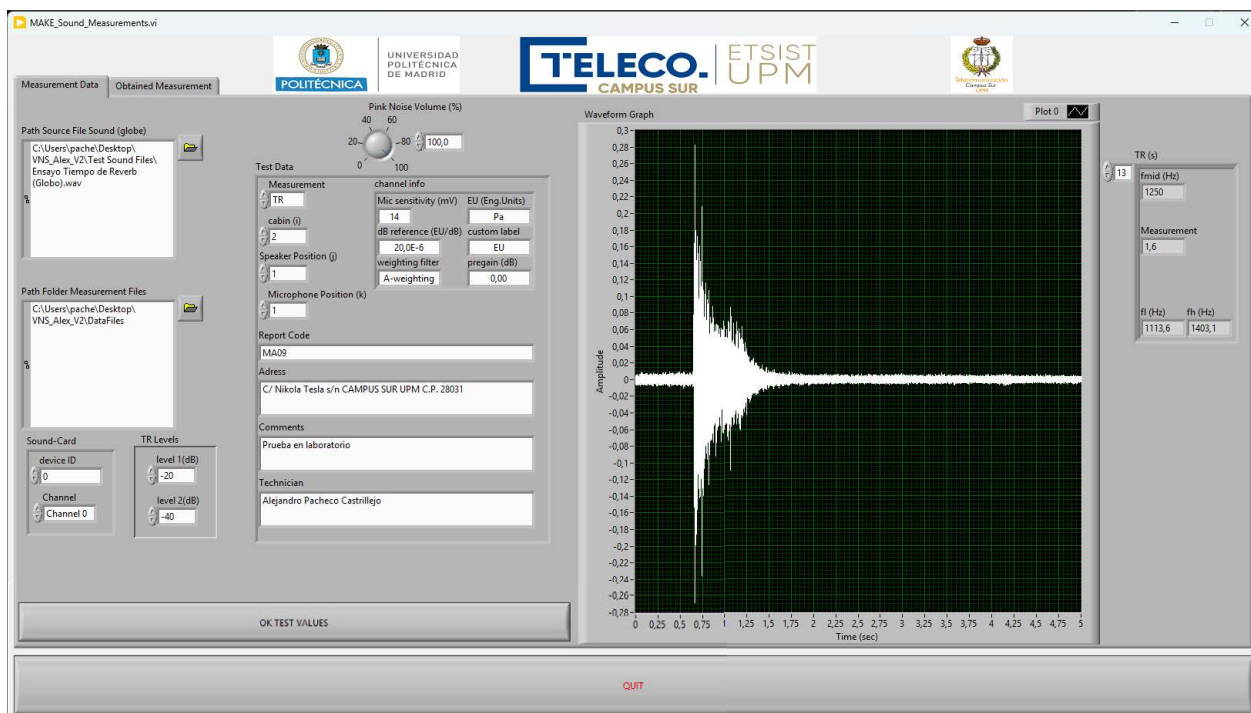


Figura 6-5.Resultados de la medida de Tiempo de Reverberación para la primera posición de micrófono en tiempo.

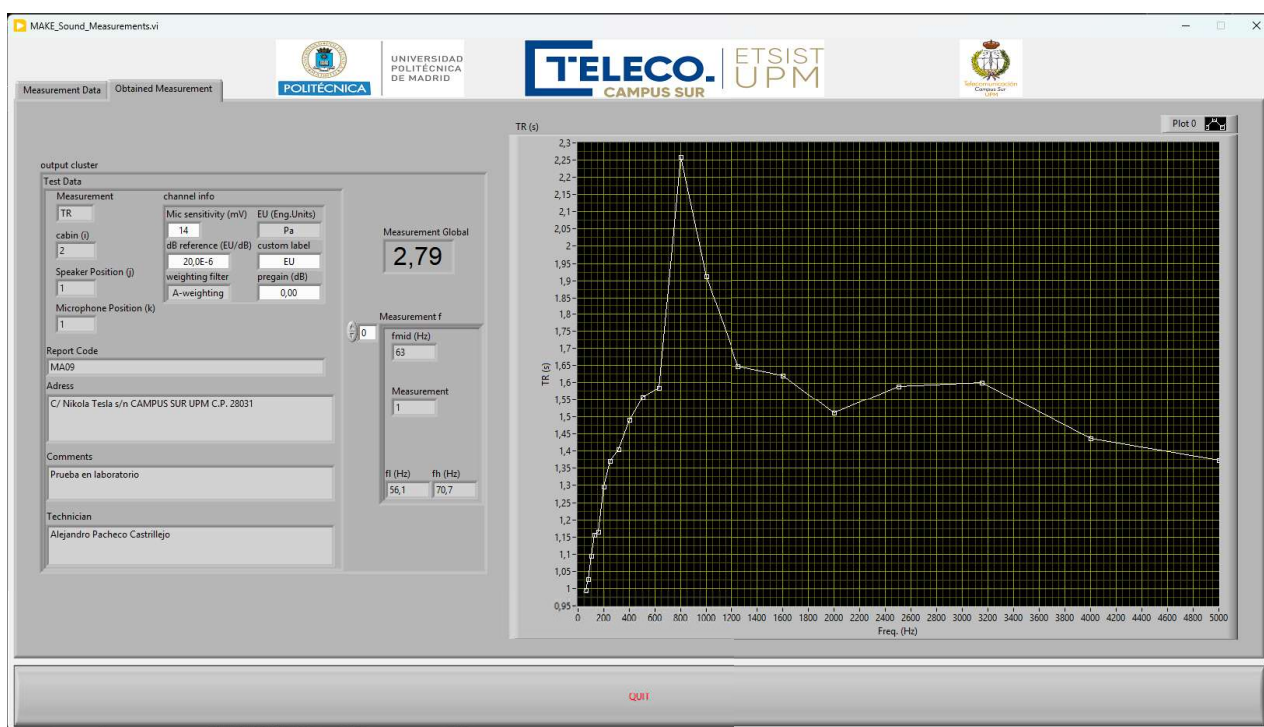


Figura 6-6. Resultados de la medida de Tiempo de Reverberación para la primera posición de micrófono en frecuencia.

6.2 Resultados del proceso de visualización de datos almacenados

Para llevar a cabo este proceso se hace uso del VI de la herramienta "READ_Sound_Measurements_File".

Por simplicidad y para evitar procesos redundantes se visualiza una única medida.

En este caso se ha de seleccionar la ruta de la medida almacenada que se desea visualizar. Una vez visualizada es posible modificar cierto tipo de información asociada a la medida, como el tipo de medida realizada o la información de texto relativa a la misma, y volver a guardarla.

Los resultados para la visualización de una medida de nivel de emisión L_1 para la primera posición de fuente y primera posición de micrófono son los siguientes:

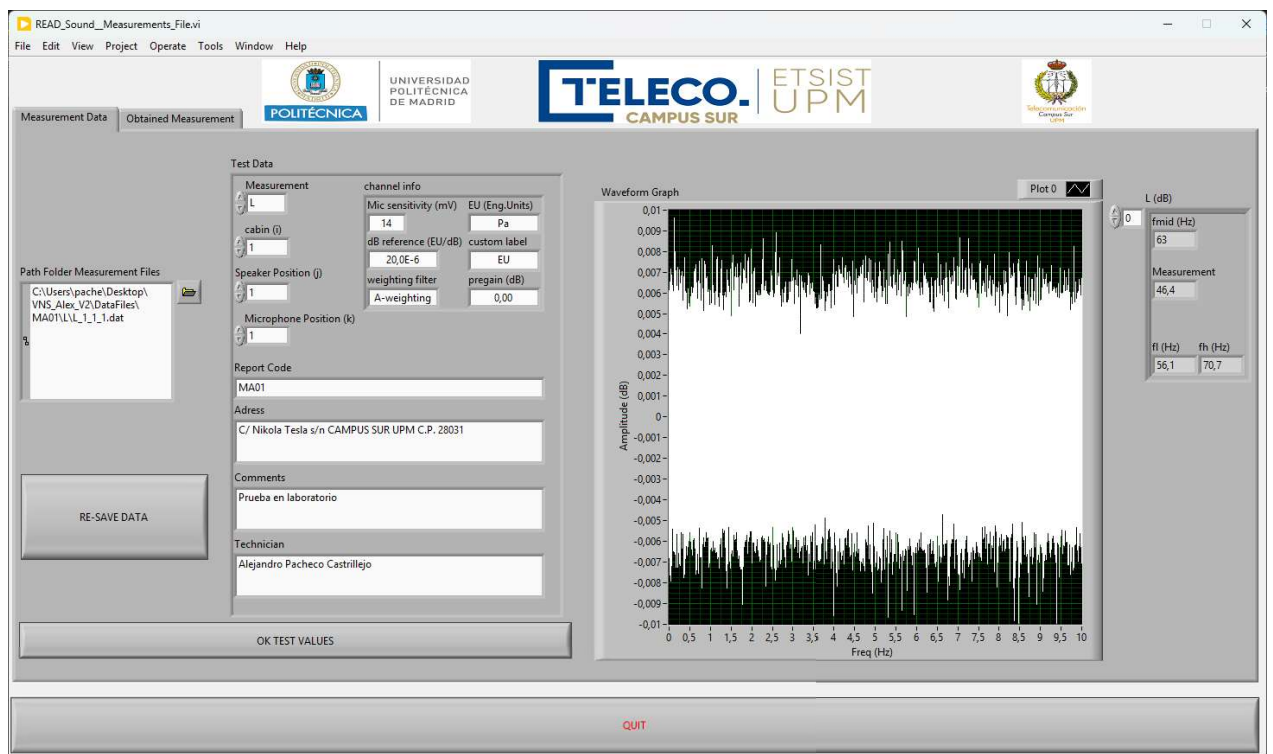


Figura 6-7. Resultados de la visualización de la medida almacenada de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en tiempo.

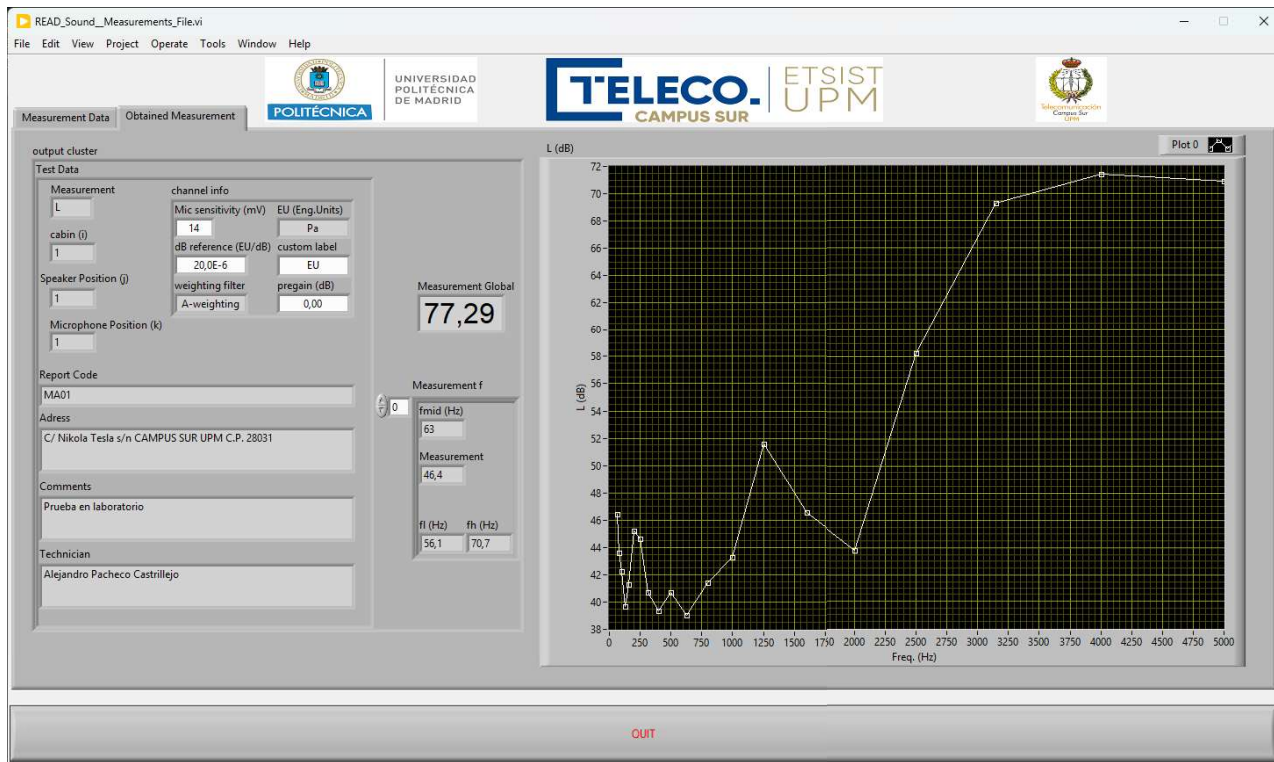


Figura 6-8. Resultados de la visualización de la medida almacenada de nivel de emisión para la primera posición de fuente y micrófono en frecuencia.

6.3 Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo

Para llevar a cabo este proceso se hace uso del VI de la herramienta "VIEW_Sound_Test_Results".

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras el cálculo y análisis de las medidas almacenadas para un ensayo completo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.

Para ello se han de seleccionar las rutas de las carpetas que contiene las medidas almacenadas, los espectros necesarios para los cálculos y los ficheros que contienen la incertidumbre asociada al ensayo. Además, se han de indicar el volumen del recinto receptor, el área de separación entre recintos y el límite máximo en dB entre bandas de tercio de octava adyacentes para las medidas de nivel de emisión.

Una vez realizada la configuración inicial, los resultados obtenidos son los siguientes.

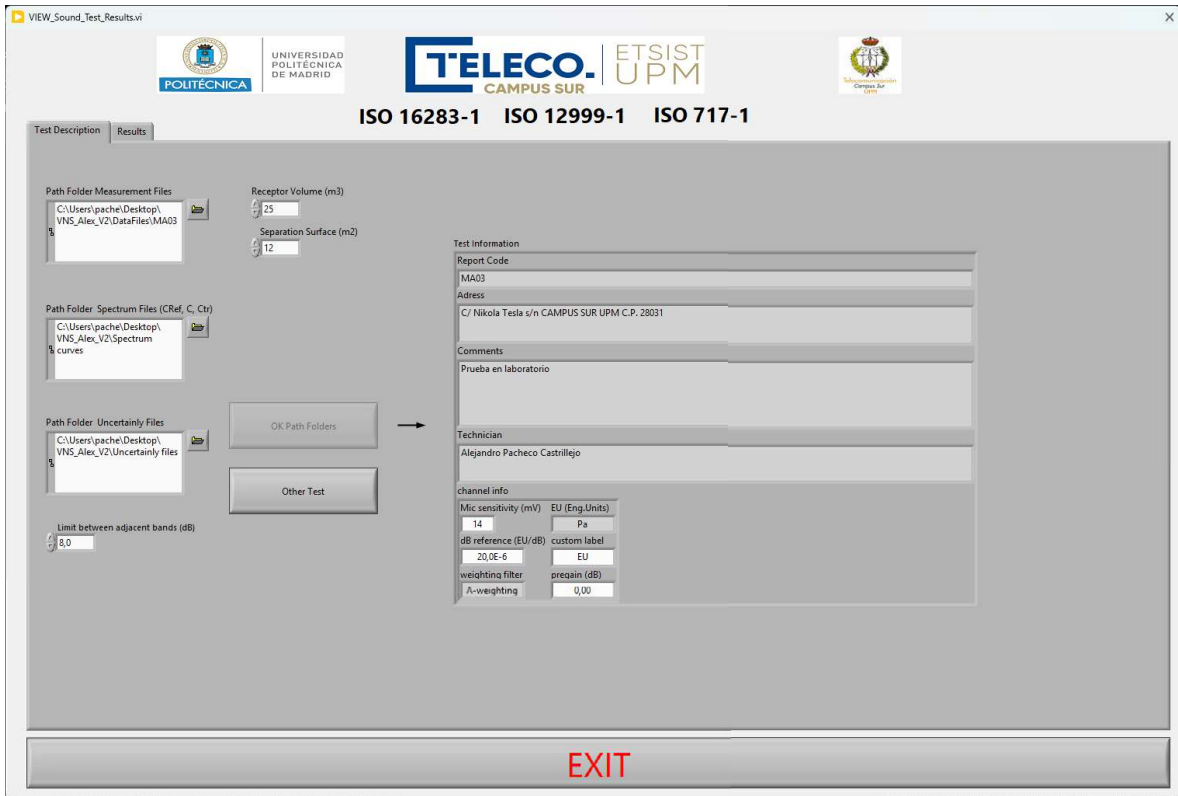


Figura 6-9. Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo. Información asociada al ensayo.

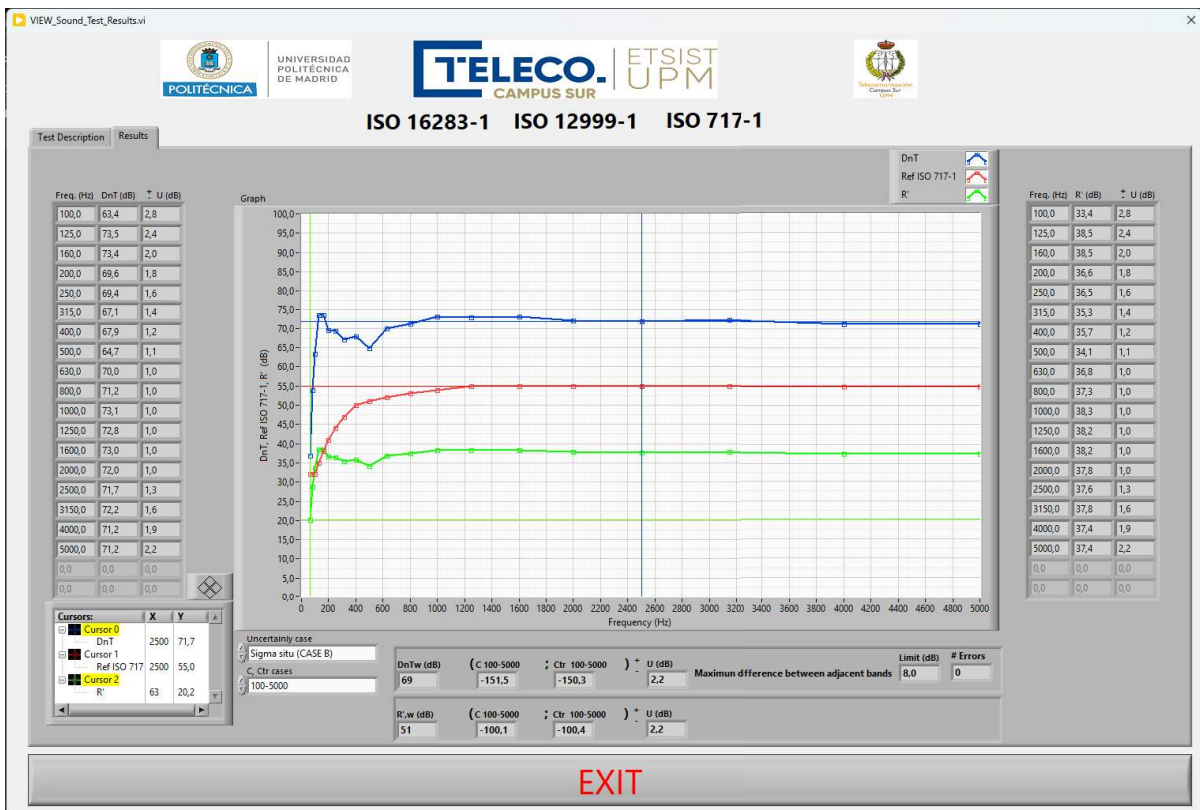


Figura 6-10. Resultados del proceso de cálculo y presentación de resultados de un ensayo. Resultados gráficos y numéricos.

En estos resultados se puede observar en la primera pestaña información asociada al ensayo presente en las medidas almacenadas empleadas para los cálculos. En la segunda pestaña se observan los resultados gráficos y numéricos en bandas de tercio de octava para la diferencia de niveles estandarizada y el índice de reducción acústica aparente, junto con su incertidumbre asociada. También se observan diferentes índices relativos tanto a la diferencia de niveles estandarizada como al índice de reducción acústica aparente. Estos son $D_{nT,w}$ y R'_w , así como C y C_{tr} , con su incertidumbre asociada.

En esta pestaña es posible seleccionar si se desea emplear un factor de cobertura que garantiza una confianza del 95% para la incertidumbre asociada a la diferencia de niveles estandarizada y el índice de reducción acústica aparente. A su vez, se puede elegir el rango de visualización de los resultados de la diferencia de niveles estandarizada y el índice de reducción acústica aparente en sus respectivas tablas, así como el rango de determinación de los índices C y C_{tr} .

7 CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

7.1 Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto ha permitido alcanzar de forma satisfactoria los objetivos marcados inicialmente. El resultado final es un Instrumento Virtual totalmente funcional que permite la realización de ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos conforme la norma UNE-EN ISO 16283-1.

Algunas de las soluciones alcanzadas tras la finalización del proyecto son las siguientes:

- Diseño e implementación de una herramienta interactiva funcional.

Se ha logrado desarrollar una solución completa mediante el entorno de programación que ofrece LABVIEW. Esta herramienta guía paso a paso al usuario en el proceso de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo, según el procedimiento descrito en la norma UNE-EN ISO 16283-1. El Instrumento Virtual ejecuta todas las fases del ensayo, automatizando gran parte de ellas y ofreciendo una representación clara y comprensible de los resultados obtenidos. Esta herramienta es perfectamente compatible con los requisitos exigidos por la norma, lo que en el caso de su uso con equipamiento calibrado y acorde con los requisitos para instrumentos de clase 1, la convierte en una herramienta válida para realizar ensayos certificados.

- Empleo de equipamiento de bajo coste.

Uno de los principales objetivos a alcanzar era desarrollar una herramienta capaz de aplicar el procedimiento normativo mediante el uso de hardware de bajo coste. Esta característica diferencia ampliamente la herramienta desarrollada de las soluciones existentes en el mercado. A su vez, esto reduce la barrera económica de entrada a la práctica de ensayos de este tipo, haciendo, además, que esta herramienta sea apropiada para el uso en ámbitos educativos y formativos.

- Implementación de cálculo normativo y presentación de resultados.

La herramienta cumple con los objetivos de análisis en bandas de tercio de octava, cálculo automático de índices requeridos por la norma y otras relacionadas (D_{nT} , $D_{nT,w}$, R' , R'_w , entre otros) y presentación de resultados. Estos últimos se presentan de forma amigable e intuitiva en formato gráfico y numérico.

- Aplicación de la normativa y conocimientos teóricos a entornos reales.

El desarrollo del proyecto ha permitido profundizar en la norma UNE-EN ISO 16283-1, a la vez que en otras relacionadas como la UNE-EN ISO 717-1 o la UNE-EN ISO 3382-2. Todo ello ha llevado a un refuerzo de la relación entre los conceptos teóricos presentes en todas ellas y la aplicación de los mismo en un entorno real.

- Desarrollo de competencias técnicas.

A nivel académico, el desarrollo del presente proyecto ha servido para la adquisición de competencias clave marcadas en los objetivos del proyecto. Algunas de las más importantes son la integración hardware-software, el diseño de interfaces amigables orientadas al usuario, la programación legible, modular y escalable en el entorno ofrecido por LABVIEW y la comprensión y aplicación de los conceptos expuestos en la norma.

En resumen, tras el desarrollo del proyecto se ha conseguido una herramienta plenamente funcional para la práctica de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, conforme a la norma UNE-EN ISO 16283-1. A su vez, esta herramienta destaca por su fácil integración con equipamiento de bajo coste y su carácter guiado e intuitivo. Esto facilita al usuario el acceso al conocimiento práctico sobre ensayos de este tipo, convirtiéndola en una herramienta ideal para la formación de técnicos y estudiantes en este ámbito.

7.2 Líneas de trabajo futuras

Una vez alcanzados los objetivos marcados para el desarrollo de este proyecto y presentadas las conclusiones al respecto, se identifican diversas líneas de trabajo futuras. Estas líneas permiten ampliar las capacidades de la herramienta desarrollada, mejorar su presión y adaptarla a otros contextos. A continuación, se muestran las principales líneas de mejora:

- Ampliación de la herramienta a otro tipo de ensayos acústicos.

Gracias al enfoque de programación modular, flexible y escalable que se ha seguido durante el desarrollo de la herramienta, se plantea la posibilidad de ampliar las funcionalidades de esta a otros ensayos acústicos. Estos podrían ser los ensayos de aislamiento acústico a ruido de impactos (según la norma UN-EN ISO 16283-2) y de aislamiento de fachadas (según la norma UNE-EN ISO 16283-3). Esta ampliación permitiría la total cobertura de la norma en cuestión, abarcando sus tres partes.

- Compatibilidad con hardware certificado.

La versión actual está optimizada para su funcionamiento con un hardware específico de bajo coste, así que otro escenario interesante sería trabajar en la integración de la herramienta con hardware certificado. Este hardware debe de cumplir con las exigencias de la norma UNE-EN IEC 61672-1 para equipamiento de clase 1. Esto permitiría aumentar la presión en el apartado de la adquisición de datos.

- Exportación de informes y resultados

Otra ampliación que se contempla es la creación de informes de manera automática. Estos incluirían los resultados gráfica y numéricamente, los cálculos realizados y la información del ensayo.

- Integración del sistema con bases de datos y almacenamiento de resultados.

Trabajar en esta línea permitiría una mejora en el almacenamiento de datos y resultados, pudiendo acceder a ellos de una manera más sencilla. A su vez, esta

funcionalidad permitiría la reutilización de datos en caso necesario y la comparación de resultados entre diferentes ensayos.

8 BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS

- [1] “Propagación del sonido: qué es y cómo funciona”, Marvin Acústica. [Consulta 14 de abril de 2025]. Disponible: <https://marvinacustica.es/propagacion-del-sonido-que-es-y-como-funciona/>
- [2] “Ruido: definiciones”, Universidad de Zaragoza, Unidad de Prevención de Riesgos Laborales. [Consulta 14 de abril de 2025]. Disponible: <https://uprl.unizar.es/higiene-industrial/ruido-definiciones>
- [3] Sánchez Gómez, Serafín “Efectos de la contaminación acústica sobre la salud”. Ponencia IX Congreso Nacional de Sanidad Ambiental. Sevilla, noviembre de 2007.
- [4] “Pérdida de audición inducida por el ruido”, Instituto Nacional de la Sordera y Otros Trastornos de la Comunicación (NIDCD). [Consulta 14 de abril de 2025]. Disponible: https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/perdida-de-audicion-inducida-por-el-ruido?utm_source
- [5] “Curvas Fletcher-Munson”, Studio-22. [Consulta 14 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.studio-22.com/blog/enciclopedia/curvas-fletcher-munson>
- [6] “Presión sonora y sonoridad III: Curvas isofónicas de Fletcher-Munson y ponderación A, B, C, K”, Hispasonic. [Consulta 16 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.hispasonic.com/tutoriales/presion-sonora-sonoridad-iii-curvas-isofonicas-fletcher-munson-ponderacion-b-c-k/43351>
- [7] “UNE-ISO 226:2013. Acústica. Líneas isofónicas normales”, AENOR. [Consulta 16 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0052360>
- [8] “Ponderaciones de frecuencia (A, B, C, Z)”, Doctor ProAudio. [Consulta 16 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.doctorproaudio.com/content.php?145-ponderaciones-weightings-frecuencia-ABC>
- [9] Recuero López, Manuel. “Acústica Arquitectónica. Soluciones Prácticas”. Ediciones Paraninfo, S.A., Madrid, 1992
- [10] “UNE-EN ISO 16283-1:2014. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en edificios y de elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo entre recintos”, AENOR. [Consulta 17 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0052281>
- [11] “UNE-EN ISO 12999-1:2015. Acústica. Determinación y aplicación de las incertidumbres de medida en acústica de la edificación. Parte 1: Aislamiento acústico”, AENOR. [Consulta 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0055036>
- [12] “Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico DB-HR 'Protección frente al ruido' del Código Técnico de la Edificación”, BOE. [Consulta

- 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-18400>
- [13] “UNE-EN ISO 3382-2:2008. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”, AENOR. [Consulta 17 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0047861>
- [14] “UNE-EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo”, AENOR. [Consulta 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051491>
- [15] “Cálculo del tiempo de reverberación”, International Acoustic. [Consulta 17 de abril de 2025]. Disponible: <https://internationalacoustic.com/es/calculo-tiempo-reverberacion/>
- [16] “UNE-EN IEC 61672-1:2022. Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones”, AENOR. [Consulta 10 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0053649>
- [17] González, Alice Elizabeth. “Acústica Ambiental. Instrumentos y Mediciones. Cuaderno 2”. Montevideo: UdelaR, Facultad de Ingeniería, IMFIA, 2017. [Consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/imfia/grupos/contaminacion-acustica/archivos/02%20Cuaderno%20%20Instrumentos%20y%20mediciones.pdf>
- [18] “UNE-EN IEC 61260-1:2014. Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de fracción de octava. Parte 1: Especificaciones”, AENOR. [Consulta 10 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0053180>
- [19] “UNE-EN IEC 60942:2018. Electroacústica. Calibradores acústicos”, AENOR. [Consulta 10 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-iec-60942-2018-n0059805>
- [20] “Sound Insulation Reporter Software”, NTi Audio. [Consulta 2 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.nti-audio.com/en/products/software/sound-insulation-reporter>
- [21] “CESVA Measuring Assistant”, CESVA. [Consulta 2 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.cesva.com/es/soporte/producto/?model=cma>
- [22] “Aplicación Building Acoustics PRO App”, SVANTEK. [Consulta 2 de mayo de 2025]. Disponible: <http://svantek.com/es/software/aplicacion-building-acoustics-pro/>
- [23] “dBTrait Software”, ACOEM. [Consulta 2 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.acoem.com/en/products/noise-vibration-software/dbtrait-software/>
- [24] “Software de acústica de salas DIRAC”, Hottinger Brüel & Kjær. [Consulta 2 de mayo de 2025]. Disponible: https://www.bksv.com/es/analysis-software/acoustic-analysis-software/room-acoustics-software-dirac?utm_term=&utm_campaign=Brand_B%26K_Generic_Exact&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=3203086621&hsa_cam=9485648051&hsa_grp=10219

[7097536&hsa_ad=438578768639&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-19959388920&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=9485648051&gbraid=0AAAAACwIqJSE3tifu4-qz89ImKKgzG1Fl&gclid=Cj0KCQjwoZbBBhDCARIsAOqMEZUqiE5nZiLKzHCEr1VO0w7zoV Nwi3URfV-CPXRim1PrfDD4dTnJJmcaAvg9EALw_wcB](https://www.google.com/search?q=7097536&hsa_ad=438578768639&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-19959388920&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=9485648051&gbraid=0AAAAACwIqJSE3tifu4-qz89ImKKgzG1Fl&gclid=Cj0KCQjwoZbBBhDCARIsAOqMEZUqiE5nZiLKzHCEr1VO0w7zoV Nwi3URfV-CPXRim1PrfDD4dTnJJmcaAvg9EALw_wcB)

- [25] “Micrófonos”, Escuela Tecson. [Consulta: 10 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.tecson.com.ar/assets/alumnos/apuntes/intro-audio/31-microfonos.pdf>
- [26] “DBX DriveRack RTA-M Datasheet, DBX”. [Consulta 4 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.manual.gt/dbx/driverack-rta-m/manual>
- [27] “Interfaz de audio Focusrite Scarlett 2i2 4th Generation”, Thomann. [Consulta 4 de mayo de 2025]. Disponible: [Focusrite Scarlett 2i2 4th Generation – Thomann España](#)
- [28] “LabVIEW”, NI. [Consulta 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.ni.com/es/shop/labview.html>
- [29] “LabVIEW For Loops and While Loops Explained”, NI. [Consulta 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.ni.com/es/support/documentation/supplemental/08/labview-for-loops-and-while-loops-explained.html>
- [30] “Case Structure”, NI. [Consulta 29 de abril de 2025]. Disponible: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-api-ref/page/structures/case-structure.html>
- [31] “LabVIEW Arrays and Clusters Explained”, NI. [Consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.ni.com/es/support/documentation/supplemental/08/labview-arrays-and-clusters-explained.html?srsId=AfmBOoploumzGrijvD27Et5kBhx2vzARXYT1xpqguFoaGBiljXJ6PmHz>
- [32] “Datalog Files in LabVIEW”, NI. [Consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/datalog-files.html?srsId=AfmBOopalHR3q2EedMbQT ml8vHP6ua7nuB113Ydf2C1DFKY1WSoWCn0>

9 PRESUPUESTO

En este apartado se detallan los costes relacionados al diseño, desarrollo e implementación del proyecto realizado, ofreciendo una estimación de los recursos económicos necesarios para su realización.

Tabla 9-1. Equipos adquiridos para la realización del proyecto

Equipos	Breve descripción	Tienda	Precio(€)
Micrófono DBX DriveRack RTA-M	<ul style="list-style-type: none"> - Micrófono de patrón omnidireccional. - Respuesta en frecuencia 20Hz-20kHz - Sensibilidad: -63 dB ± 3 dB - Conectividad: XLR balanceado (requiere Phantom 9-52 V) 	Thomann	125
Interfaz de audio USB 2.0 de 2 canales Focusrite Scarlett 18i8 (4ª Generación)	<ul style="list-style-type: none"> - Interfaz de audio USB 2.0 - 2 entradas XLR - 2 salidas Jack 6,3 mm - Resolución 24 bits - Frecuencia de muestreo: hasta 192 kHz - Alimentación Phantom de 48V - Conectividad: USB-C / USB 2.0 compatible con Windows y macOS 	Thomann	188
Licencia de LabVIEW™ completa	<ul style="list-style-type: none"> - Entorno de programación gráfico. Incluye editor gráfico, depuración, análisis de señales y generación de ejecutables sin necesidad de tener LabVIEW en el destino - Compatibilidad: Windows (completa), Linux y macOS (limitada) - Versión: Professional 	National Instruments	3.111/año
Toolkit de Sonido y Vibración de LabVIEW™	<ul style="list-style-type: none"> - LabVIEW Sound and Vibration Toolkit - Complemento para LabVIEW™ (versión Professional) - Análisis de señales acústicas y vibraciones 	National Instruments	525

Por lo tanto, el precio final de la elaboración de este proyecto sería de 3949 €, financiado por el departamento de Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física Aplicada (EFF).

10 ANEXO: MANUAL DE USUARIO

Para el correcto empleo de la herramienta desarrolla se presenta este manual destinado a guiar al usuario a través del proceso de un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos conforme a la norma UNE-EN ISO 16283-1.

Para la primera parte del ensayo, asociada al proceso de adquisición de datos, se precisa del empleo del apartado "MAKE_Sound_Measurements". Este apartado presenta la siguiente interfaz:

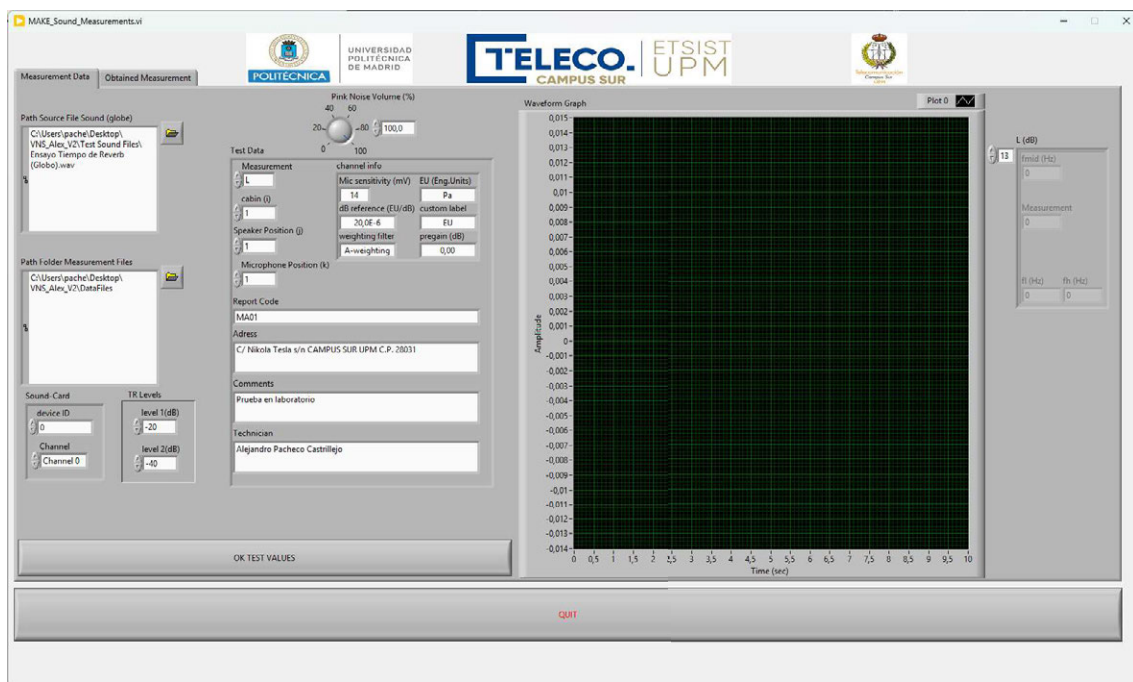


Figura 10-1. Interfaz de usuario del apartado "MAKE_Sound_Measurements".

A continuación, se detallan los pasos para ejecutar de forma correcta el proceso de medición.

- Seleccionar la ruta de la cual obtener el archivo que se reproducirá como sonido evaluador en el proceso de medición de Tiempo de Reverberación (preferiblemente la explosión de un globo, un disparo o cualquier sonido similar).
- Seleccionar la ruta donde se van a almacenar las medidas realizadas durante el ensayo.
- Seleccionar la tarjeta de sonido que se va a emplear
- Seleccionar los valores a partir de los cuales calcular el valor de Tiempo de Reverberación (normalmente entre -20 dB y -40 dB).
- Ajustar el volumen del ruido rosa necesario para las mediciones de los niveles de presión sonora en el recinto emisor y receptor (preferiblemente al 100%).
- Rellenar los valores de Report Code, Address, Comments y Technician.
- En el caso de ser necesario, modificar los valores del apartado Channel Info.
- Seleccionar el tipo de medida que se va a llevar a cabo. El primer índice hace referencia al habitáculo donde se realizará la medición (1 para el recinto emisor, 2 para el receptor). El segundo índice hace referencia a la posición de la fuente. El último índice hace referencia al número de posición del micrófono. Para una correcta ejecución de las medidas, se detalla su procedimiento.

- Nivel de emisión L_1 y nivel de recepción L_2 . Se llevarán a cabo 5 posiciones de micrófono para cada una de las dos posiciones de fuente.
- Nivel de ruido de fondo LRF . Se llevarán a cabo 2 mediciones de nivel de ruido de fondo en posiciones distintas de micrófono antes de comenzar el ensayo y 2 mediciones de nivel de ruido de fondo en posiciones distintas de micrófono al acabarlo. Estas mediciones tendrán lugar en el recinto receptor.
- Tiempo de Reverberación TR . Se llevarán a cabo 6 posiciones distintas de micrófono para una sola posición de fuente. Estas mediciones se llevarán a cabo en el recinto receptor.

Para llevar a cabo estas mediciones se han de tener en cuenta las siguientes restricciones para las posiciones de la fuente y el micrófono.

Nivel de emisión L_1 , nivel de recepción L_2 , y nivel de ruido de fondo LRF .

- a) Posiciones de la fuente sonora.
 - Al menos 0,5m entre los bordes del recinto y el centro de la fuente, y 1m cuando el límite es la muestra a evaluar.
 - Al menos 0,7m entre posiciones de fuente. Al menos dos posiciones de fuente deben encontrarse a no menos 1,4m.
 - Las diferentes posiciones de fuente no deben colocarse dentro de los planos paralelos a los límites del recinto que estén a menos de 0,7m uno del otro.
 - Al menos 1m entre la base del altavoz y el suelo cuando se mide aislamiento a ruido aéreo de un suelo con el altavoz en el recinto superior.
- b) Posiciones del micrófono.
 - Mediante el uso de trípodes, se distribuirán de manera uniforme y aleatoria en las tres dimensiones del recinto receptor, evitando cuadrículas uniformes. No debe haber dos posiciones de micrófono situadas en el mismo plano respecto a los límites del recinto.
 - Al menos 0,7 m entre posiciones de micrófono.
 - Al menos 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
 - Al menos 1 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.
 - No debe haber dos posiciones de micrófono situadas en el mismo plano con respecto a los límites del recinto y las posiciones no deben ser las de una retícula regular.
 - Durante la medición el tronco del cuerpo del operador debe permanecer a una distancia de al menos un brazo desde el micrófono.

Tiempo de Reverberación TR .

- a) Posiciones de la fuente sonora.
 - Una única posición de fuente.
 - La distancia entre cualquier posición de micrófono y la fuente generadora de impulsos será al menos de 1m.
- b) Posiciones del micrófono. Las posiciones de micrófono para la medida del tiempo de reverberación coincidirán con todas o algunas de las seleccionadas para el registro de nivel de recepción L_2 , siempre y cuando se respeten las distancias mínimas siguientes:

- Preferiblemente 2m entre posiciones de micrófono.
- Al menos 1 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
- 1,2m respecto del suelo.

Una vez cumplimentadas las configuraciones necesarias, accionar el botón de “OK TEST VALUES” y comenzará la medición. Una vez finalizada la medición, el resultado será observable de manera gráfica y numérica en la interfaz proporcionada al usuario. A su vez, la medida queda automáticamente guardada en el directorio especificado previamente.

Para la parte de la visualización de las medidas almacenadas, se precisa del empleo del apartado “*READ_Measurements_File*”. La interfaz del apartado es la siguiente:

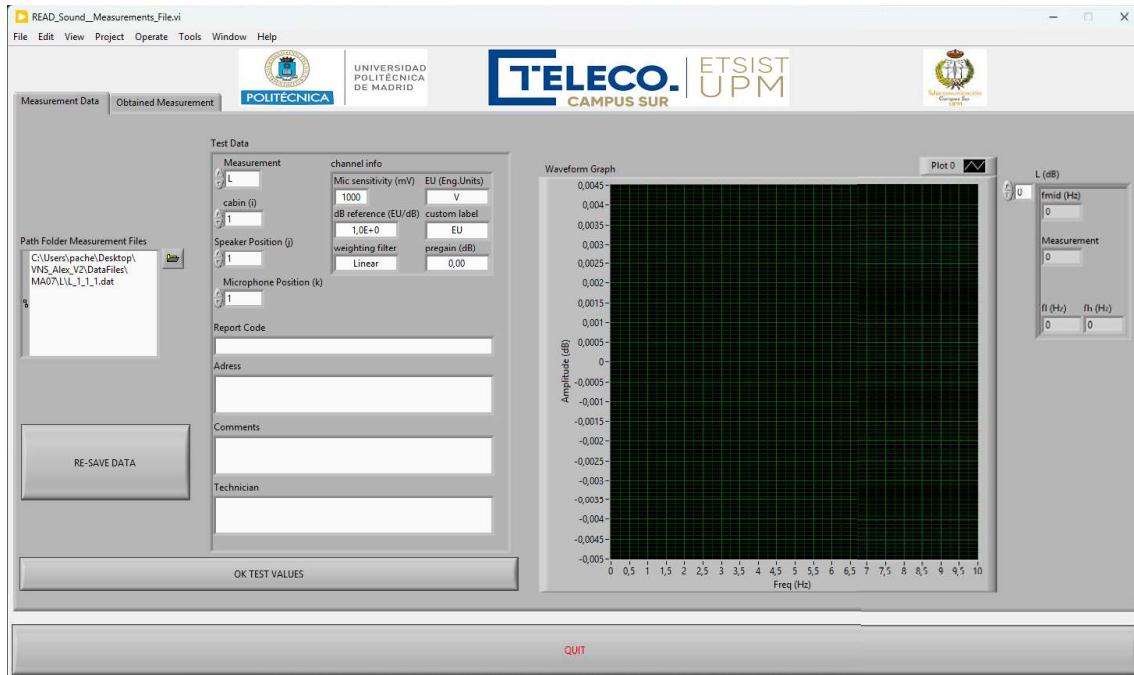


Figura 10-2. Interfaz de usuario del apartado “*READ_Measurements_File*”.

A continuación, se detallan los pasos para ejecutar de forma correcta el proceso de visualización de las medidas almacenadas:

- Seleccionar la ruta de la medida que se desea visualizar.
- En el caso de querer modificar algún dato o información relativo a la medida, cambiarlo en el apartado “Test Data” y accionar el botón de “RESAVE DATA” para guardar los cambios realizados en la medida.
- En el caso de no desear modificar ningún dato ni información asociado a la medida, o haberlo hecho ya, pulsar directamente “OK TEST VALUES” para la visualización de la medida almacenada.

Para la parte de la obtención de los resultados del ensayo, se precisa del empleo del apartado “*VIEW_Sound_Test_Results*”. La interfaz de dicho apartado es la siguiente:

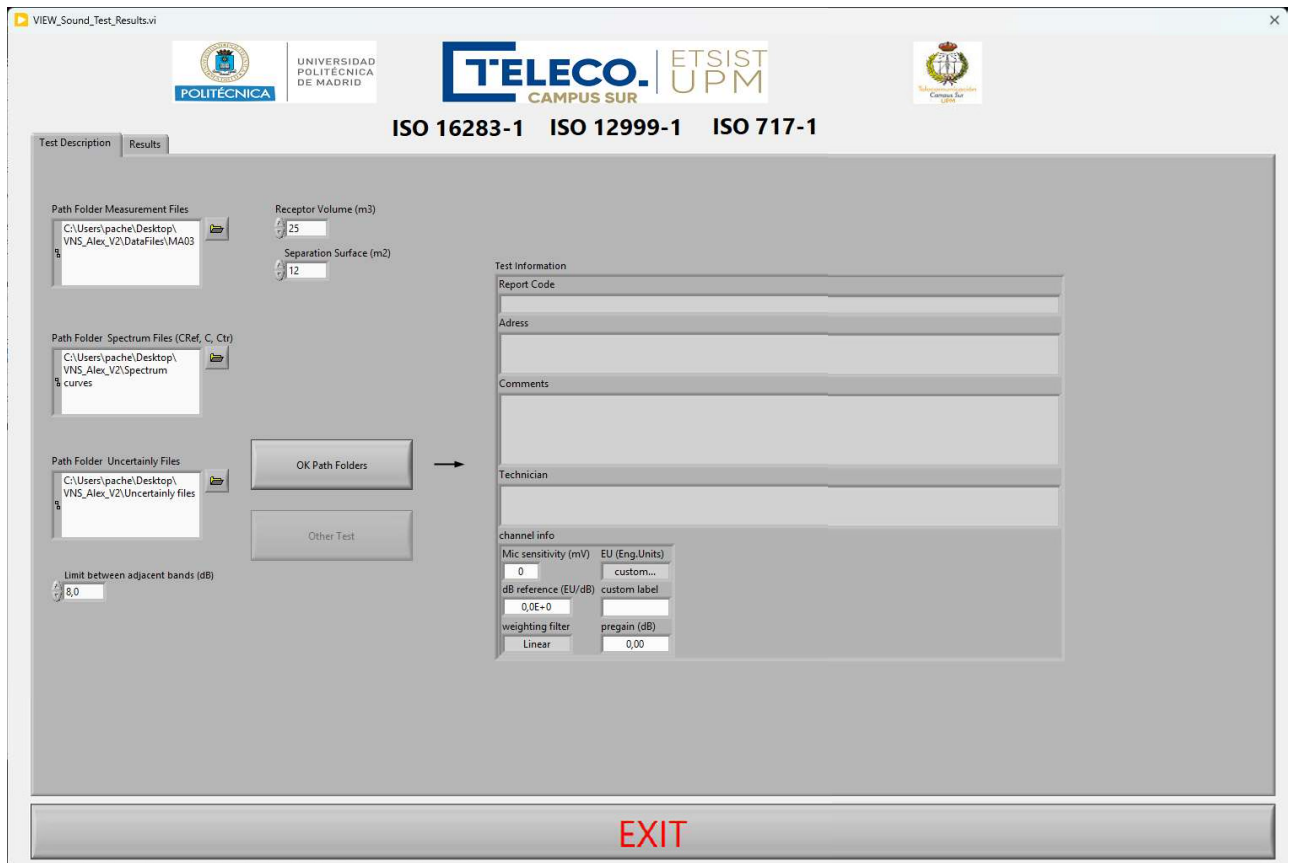


Figura 10-3. Interfaz de usuario del apartado "VIEW_Sound_Test_Results".

A continuación, se detallan los pasos para ejecutar de forma correcta el proceso de cálculo y representación de los resultados del ensayo:

- Indicar la ruta a la carpeta que contiene los datos de las medidas relativas al ensayo.
- Indicar la ruta a la carpeta que contiene los archivos con los espectros necesarios para llevar a cabo los cálculos pertinentes.
- Indicar la ruta a la carpeta que contiene los archivos de incertidumbre asociada a los resultados del ensayo.
- Indicar el volumen del recinto receptor y el área de separación entre recintos.
- Indicar el límite de diferencia de nivel entre bandas de tercio de octava adyacentes exigido por la norma (generalmente 8 dB).
- Accionar el botón "OK Path Folders"

A continuación, el programa guía al usuario a la segunda pestaña de este apartado. En ella se presentan los resultados del ensayo gráfica y numéricamente. En ella el usuario puede modificar los siguientes apartados que cambiarán detalles de la visualización de los resultados.

- La representación de la incertidumbre. Pudiendo elegir entre la incertidumbre multiplicada por un factor de cobertura que garantiza un nivel de confianza del 95% o sin aplicar ese factor.
- El rango de frecuencias en el que se muestran los índices C y C_{tr} . Pudiendo elegir entre los rangos de 63 a 5000 Hz, de 100 a 5000 Hz y de 100 a 3150 Hz.

La interfaz de la pestaña recién explicada se muestra a continuación:

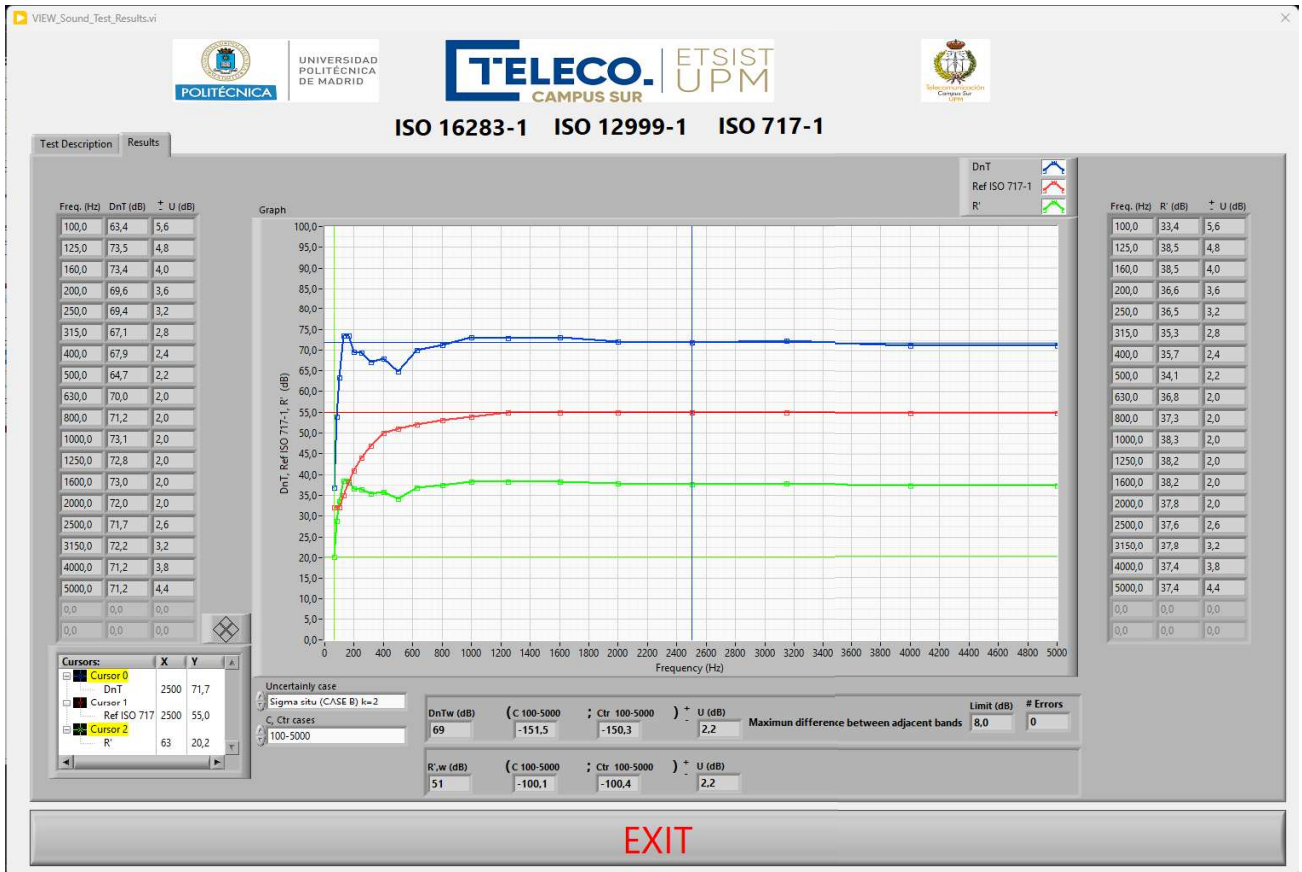


Figura 10-4. Interfaz de usuario del apartado "VIEW_Sound_Test_Results". Presentación de resultados