

Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación

TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster Ciencia y Tecnología de la Edificación

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
ACÚSTICA DE ESPACIOS
DOCENTES DE LA UPCT

Alumna: Victoria Artés Hernández

Directores: Dr. Enrique Castro Rodríguez y Dr. Javier Prior Arce

Cartagena, octubre de 2017

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo específico.....	9
2.2 Objetivos generales.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	10
4. MATERIALES Y METODOLOGÍAS APLICADAS	12
4.1 MEDICIONES	13
4.1.1 Determinación experimental del tiempo de reverberación....	13
4.1.2 Determinación experimental d la inteligibilidad de la palabra..	18
4.1.3 Determinación experimental del ruido de fondo.....	20
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RECINTOS.....	23
4.2.1 Planta baja.....	29
4.2.2 Planta primera	32
4.2.3 Planta sótano.....	35
4.3 EQUIPAMIENTO.....	38
4.3.1 Sonómetro	38
4.3.2 Ordenador portátil.....	39

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
5.1 AULA PB.1.....	40
5.1.1 Ruido de fondo.....	41
5.1.2 Tiempo de reverberación	42
5.1.3 STI.....	42
5.2 AULA PB.6.....	43
5.2.1 Ruido de fondo.....	44
5.2.2 Tiempo de reverberación.....	44
5.2.3 STI.....	45
5.3 AULA P1.11.....	45
5.3.1 Ruido de fondo.....	46
5.3.2 Tiempo de reverberación	47
5.3.3 STI.....	47
5.4 AULA P1.12.....	48
5.4.1 Ruido de fondo.....	48
5.4.2 Tiempo de reverberación	49
5.4.3 STI.....	49
5.5 LABORATORIO.....	50
5.5.1 Ruido de fondo.....	51
5.5.2 Tiempo de reverberación	51

5.6 RESUMEN	
5.6.1 Ruido de fondo.....	52
5.6.2 Tiempo de reverberación	52
5.6.3 STI.....	55
6. SOLUCIONES PROPUESTAS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO ...	56
7. CONCLUSIONES.....	62
8. BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS-PLANOS.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Márgenes recomendados de tiempos de reverberación según el uso de la sala.....	14
Tabla 2 Relación % ALCons - STI y valoración subjetiva	19
Tabla 3 Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a uso educativo.....	21
Tabla 4 Valores máximos de ruido de fondo	21
Tabla 5 Resumen de los valores de referencia según la bibliografía.....	40
Tabla 6 Ruido de fondo aula PB.1	41
Tabla 7 Tiempo de reverberación aula PB.1	42
Tabla 8 STI aula PB.1	43
Tabla 9 Ruido de fondo aula PB.6	44
Tabla 10 Tiempo de reverberación aula PB.6.....	44
Tabla 11 STI aula PB.6	45
Tabla 12 Ruido de fondo aula P1.11	46
Tabla 13 Tiempo de reverberación aula P1.11	47
Tabla 14 STI aula P1.11.....	47
Tabla 15 Ruido de fondo aula P1.12.....	48
Tabla 16 Tiempo de reverberación aula P1.12	49
Tabla 17 STI aula P1.12.....	49
Tabla 18 Ruido de fondo aula P1.12.....	51
Tabla 19 Tiempo de reverberación laboratorio TSC-5	51
Tabla 20 Resumen de las mediciones del ruido de fondo	52
Tabla 21 Resumen de las mediciones del tiempo de reverberación	52
Tabla 22 Tiempo de reverberación en el aula PB.6 hallado con la fórmula de Sabine)	54
Tabla 23 Tiempo de reverberación en el aula P1.11 hallado con la fórmula de Sabine)	54
Tabla 23 Resumen de las mediciones del STI.....	55
Tabla 25 Tiempo de reverberación en el aula PB.6 con mejora de absorción acústica.....	60

Tabla 26 Tiempo de reverberación en el aula P1.11 con mejora de absorción acústica	60
Tabla 27 Presupuesto de la intervención.....	59

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Equipo utilizado de emisión de ruido	16
Imagen 2 Creación del ruido blanco con el programa "Audacity"	17
Imagen 3 Toma de datos con el sonómetro y el ordenador portátil	18
Imagen 4 Situación de la ciudad de Cartagena	23
Imagen 5 Situación de la ETSIT dentro del Campus de la Muralla del Mar.....	24
Imagen 6 Jura de bandera en la Plaza del Hospital en 1920. Al fondo el Cuartel de Antiguones	25
Imagen 7 Plano del Cuartel de Antiguones en 1789.....	25
Imagen 8 Fachada principal de la ETSIT	26
Imagen 9 Testero Norte de la ETSIT	26
Imagen 10 Fachada posterior de la ETSIT.....	27
Imagen 11 Testero Sur de la ETSIT.....	27
Imagen 12 Patio interior de la ETSIT visto desde el Norte	28
Imagen 13 Patio interior de la ETSIT visto desde el Sur.....	28
Imagen 14 Plano de la de la ETSIT	29
Imagen 15 Pasillo de aulas de la Planta baja de la ETSIT	30
Imagen 16 Aula PB.1 de la ETSIT	30
Imagen 17 Aula PB.6 de la ETSIT	31
Imagen 18 Materialidad de la estructura en la Planta baja de la ETSIT	32
Imagen 19 Plano de la Planta primera de la ETSIT	32
Imagen 20 Pasillo de aulas de la Planta primera de la ETSIT	33
Imagen 21 Aula P1.11 de la ETSIT.....	33
Imagen 22 Aula P1.12 de la ETSIT.....	34
Imagen 23 Materialidad en las aulas de la Planta primera de la ETSIT	35
Imagen 24 Plano de la Planta sótano de la de la ETSIT.....	36
Imagen 25 Patio de luz en la Planta sótano de la ETSIT	36
Imagen 26 Aula laboratorio TSC-5 de la ETSIT	37

Imagen 27 Sonómetro Velleman DVM 8552.....	38
Imagen 28 Software del sonómetro Velleman DVM 8552.....	39
Imagen 29 Programa “Audacity”, creación ruido blanco.....	39
Imagen 30 Planta y alzado del aula PB.1 de la ETSIT. Ubicación de los puntos para el estudioacústico	41
Imagen 31 Planta y alzado del aula PB.6 de la ETSIT. Ubicación de los puntos para el estudioacústico	43
Imagen 32 Planta y alzado del aula P1.11 de la ETSIT. Ubicación de los puntos para el estudioacústico.	46
Imagen 33 Planta y alzado del aula P1.12 de la ETSIT. Ubicación de los puntos para el estudioacústico	48
Imagen 34 Planta y alzado del laboratorio TSC-5 de la ETSIT. Ubicación de los puntos para el estudioacústico	50
Imagen 35 Disipación de la energía de la onda en el interior	57
Imagen 36 Placa de yeso perforada "Knauf Cleaneo" con perforaciones aleatorias	58
Imagen 37 Sistema constructivo de la partición	58
Imagen 38 Sistema constructivo de trasdosado	59
Imagen 39 Coeficiente de absorción de las placas “Knauf Cleaneo”	59

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Decrecimiento del nivel de presión sonora en el recinto	14
Gráfica 2 Medida del decrecimiento de la curva del tiempo de reverberación.....	15

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Distancia mínima entre los puntos de medida del Tr	16
Ecuación 2 Nivel de presión sonora	22
Ecuación 3 Ecuación de Sabine.....	53

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Final de Máster en Ciencia y Tecnología de la Edificación se ha efectuado para evaluar la calidad acústica de varios espacios docentes del edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones (ETSIT) de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Se trata de un edificio rehabilitado, que anteriormente fue un Cuartel militar y que en 2006 se reconvirtió en un espacio educativo, para alojar la ETSIT, la Biblioteca y el Servicio de Documentación de la UPCT.

El interés de este estudio surge debido a las críticas desfavorables que está recibiendo dicho edificio por parte de profesores y alumnos, que se quejan de una mala acústica en las aulas y laboratorios. Mediante la evaluación de varios parámetros del interior del recinto de la ETSIT-UPCT se pretende confirmar el estado acústico de la misma y proponer, en caso necesario, soluciones que mejoren su acústica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO ESPECIFICO

El objetivo específico del presente TFM ha sido determinar la calidad acústica de los espacio docentes de la ETSIT-UPCT, a través del análisis de sus cuatro aulas más representativas así como de un laboratorio docente.

2.2. OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales han sido los siguientes:

- Determinar los parámetros acústicos que permiten diagnosticar la condición acústica de las aulas y laboratorio seleccionados
- Conocer el ruido de fondo en dichas salas
- Hallar el tiempo de reverberación (T_r) de las aulas y laboratorio objeto de estudio.
- Evaluar la inteligibilidad de la palabra dentro de las aulas y laboratorio calculando matemáticamente el índice de transmisión del discurso (Speech Transmission Index, STI)
- Proponer soluciones para mejorar la acústica de las aulas estudiadas.

3. MARCO TEÓRICO

La acústica es la ciencia que estudia la producción, transmisión y percepción del sonido tanto en el intervalo de la audición humana, como en el de las frecuencias ultrasónicas e infrasónicas [1]. Comprende diferentes áreas de trabajo incluyendo la acústica arquitectónica (cómo interacciona el sonido con las construcciones, diseño de salas de conciertos, teatros, iglesias, salones, aulas, etc), la ingeniería acústica (diseño y uso de instrumentos de medición del sonido incluyendo instrumentos de diagnóstico médico, sísmico, producción de sonido, etc) y el control del ruido y de las vibraciones (como medida de prevención para la salud) [1].

Cuando se piensa en la concepción de un edificio lo primero que viene a la mente son temas estéticos, de acabados, de mobiliario, etc. Sin embargo, al proyectar un edificio del ámbito educacional, la acústica del recinto debe ser tomada muy en cuenta para garantizar el confort en las aulas. Está demostrado que trabajar en ambientes acústicamente agradables es mucho más fructífero que en los que no se respeten las condiciones de confort. El acondicionamiento acústico es tan importante en edificios académicos como la luz, la temperatura y la ventilación, y deben trabajar todas ellas conjuntamente, ya que si se falla en una se fallará en todas [2]. Por tanto, el diseño arquitectónico de un espacio debe responder siempre a la función, por lo que en un aula es primordial procurar las medidas de confort que posibiliten escuchar, leer, escribir, estudiar y concentrarse.

En la rehabilitación de edificios, en ocasiones los parámetros de confort acústicos no se tienen debidamente en cuenta al darle un nuevo uso a la edificación. Entonces, es necesario evaluar correctamente la calidad del espacio a rehabilitar para adaptar su acondicionamiento acústico al nuevo uso.

Las propiedades acústicas de un aula determinan en cierta medida la calidad en la educación de los alumnos. Unas malas condiciones tales como alto T_r , excesivo ruido de fondo o una mala distribución del sonido causan molestias a los alumnos y profesores. Todo ello conduce a la pérdida de claridad en la transmisión de la palabra y a la alteración del discurso. En consecuencia, se puede hablar de tres parámetros básicos que determinan la calidad del ambiente acústico [3]:

- Ruido de fondo
- Reverberación
- Inteligibilidad de la palabra

El ruido de fondo, en la mayor parte de los casos, hace referencia al procedente del exterior. La reverberación y la inteligibilidad son dos parámetros que están relacionados entre sí y vienen determinados por la geometría de la sala, la distribución interior y los materiales constructivos.

Ruido es cualquier sonido no deseado que acaba transformándose en una molestia. Está formado por sonidos aleatorios de muchas frecuencias de valor impredecible [4]. Desde el punto de vista de la acústica de los locales, el problema del ruido se enfoca de dos maneras: controlar el proveniente del exterior que se trasmite al interior y acondicionar las salas para desarrollar las actividades a las que están destinadas [5].

El sonido en general se mide en decibelios [dB(A)]. Normalmente la voz de un profesor alcanza entre 51 y 78 dB(A) y, para que el discurso sea inteligible, el sonido debe ser por lo menos de 15 a 25 dB(A) superior al ruido de fondo [6]. Un valor de ruido de fondo aceptable está en torno a 30 dB(A), teniendo en cuenta que a 60 dB(A) empieza a aparecer una sensación desagradable. En escuelas y en edificios educacionales y socio-culturales el ruido puede molestar y debilitar la capacidad de concentración de sus ocupantes [7]. Confort acústico significa que el campo sonoro existente en el interior del recinto no genere molestias a las personas que se encuentren en su interior.

Se define la reverberación como un fenómeno de sucesivas reflexiones en distintas superficies, es decir, que se repite el sonido al rebotar contra las paredes, el suelo, el techo y cualquier objeto presente en el recinto. Según si son buenas o malas superficies reflectoras, la propagación del sonido durará más o menos. El problema ocurre cuando en una misma sala se acaban percibiendo varios sonidos a la vez procedentes de una o varias fuentes, causando la confusión del receptor [8].

El Tr hace referencia al tiempo que tarda desde que se emite el sonido hasta que se apaga y deja de ser perceptible. No debe ser muy largo pues produciría interferencias en el receptor, ni tampoco muy corto pues significaría que no llega a todos los puntos [8].

En los espacios donde es necesaria una comprensión de la palabra oral, el objetivo principal es conseguir un discurso inteligible. Para lograrlo es necesario que tanto el ruido de fondo como el nivel de campo reverberante en el aula sean bajos, y que no exista eco o focalizaciones del sonido [4].

La transmisión del sonido consta de tres partes: una fuente sonora que emite la vibración, un medio por el cual se propaga la onda y un receptor. En una clase, la fuente sería el profesor, el medio sería el volumen de aire interior y el receptor serían los alumnos.

Para solucionar los problemas acústicos es necesario identificar en qué parte del proceso se producen los efectos indeseados. Esto quiere decir que en primer lugar se debe caracterizar la fuente según su potencia, direccionalidad y contenido, seguidamente analizar la propagación del sonido en el interior del aula y, finalmente, proveer al receptor de los medios necesarios para percibir correctamente el mensaje. En el interior del aula estos problemas están relacionados, como antes se ha comentado, con la geometría del recinto y el Tr. Si éste es muy elevado o se producen concentraciones de energía debido a la geometría de la sala, se provocará el enmascaramiento de la palabra y la falta de inteligibilidad en el receptor [5].

Un estudio acústico debe identificar las molestias acústicas de las salas para proponer soluciones con el fin de reducirlas o eliminarlas y, además, determinar la audibilidad de la palabra y la fidelidad en la emisión de sonidos. Con este objetivo, el presente TFM pretende estudiar cómo se propaga el sonido en varias aulas de la ETSIT-UPCT y aportar las mejoras que se consideren convenientes para reducir o eliminar las molestias acústicas.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍAS APLICADAS

Los índices acústicos establecidos como adecuados por la normativa pueden obtenerse mediante cálculos matemáticos o con mediciones de campo [9]. En el caso de este TFM se procederá a la toma de datos *in situ* y al posterior procesamiento matemático de los resultados.

Siguiendo los criterios de Castro [10] el primer paso para realizar el estudio es obtener la documentación previa necesaria de las salas que se van a evaluar. Se han elegido cinco de los espacios docentes más representativos del edificio de la ETSIT-UPCT. Por ello, en primer lugar se procederá a la toma de datos de las salas mediante fotografías y croquis a escala. Se pretende así acotar la geometría de la sala, determinar los materiales de las superficies del recinto, establecer la posición adecuada de la fuente (para los altavoces y el ruido impulsivo) y de los instrumentos de medida (del sonómetro y el ordenador) y separarlos una cierta distancia.

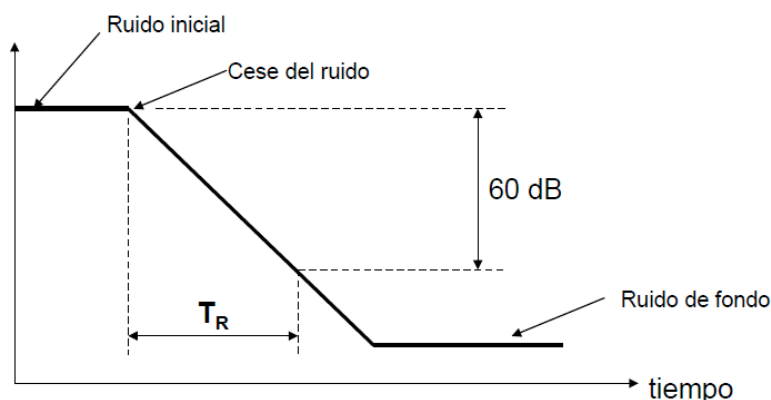
Se van a realizar tres clases de medidas en estas salas:

- Ruido de fondo: para comprobar cuánto ruido se trasmite al interior de las estancias proveniente del exterior y del resto del recinto.
- Tiempo de reverberación (T_r): se medirá este parámetro mediante el método del ruido interrumpido. Se emite un ruido blanco durante unos segundos y se medirá hasta 4 segundos después de cesar este.
- Índice de Transmisión del Discurso (STI): con la emisión de un ruido impulsivo en un punto se calcula la respuesta de la sala en otro punto, obteniéndose una valoración de la claridad del sonido.

4.1. MEDICIONES

4.1.1 Determinación experimental del tiempo de reverberación

Se define el T_r como el tiempo en segundos que transcurre desde que cesa la fuente hasta que el nivel de presión sonora del recinto disminuye 60 dB desde su valor inicial [4]. La Gráfica 1 recoge cómo evoluciona el nivel de presión sonora en un recinto [11]



Gráfica 1 Decrecimiento del nivel de presión sonora en el recinto [11]

Cuando la estancia tiene un alto tiempo de reverberación se le denomina recinto “vivo”, mientras que si es bajo se denomina recinto “apagado o sordo” [4]. Normalmente la reverberación depende de la geometría y del volumen de la sala, así como de las actividades a las que se vaya a dedicar este espacio. En el caso del presente estudio, donde el objetivo es conseguir una buena inteligibilidad de la palabra, sería adecuado un T_r más bien bajo, entre 0,7 y 1 segundo [12]

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Tabla 1 Márgenes recomendados de Tiempos de reverberación según el uso de la sala [12].

Según el Código Técnico de la Edificación (CTE) en lo referente a Protección frente al ruido Apartado 2.2 el T_r en aulas y salas de conferencias cuyo volumen sea menor de 350 m^3 no debe superar los 0,7 s y si el volumen es mayor de 350 m^3 , no debe superar los 0,5 s [12]. Se ha establecido como T_r idóneo para aulas vacías de entre 0,8 y 1,5 s [13].

Otras normativas más exigentes, como la estadounidense, establece que el tiempo máximo para la reverberación en escuelas debe ser 0,6 s. con un



Imagen 1 Equipo utilizado de emisión de ruido

- o Posicionamiento de los aparatos de medida

Se establecerán las posiciones de la fuente sonora (los altavoces) y los instrumentos de medida (los sonómetros).

Se definirán 6 posiciones para el sonómetro y se tomarán 3 medidas en cada posición. Para efectuar las medidas de los sonómetros, éstos deberán estar separados una distancia de al menos 2 m.

Según el protocolo, la fuente sonora y los sonómetros deben estar separados una distancia d (Ecuación 1):

$$d = 2 \sqrt{V/cT}$$

Ecuación 1 Distancia mínima entre los puntos de medida del T_r

donde

V = volumen del recinto

c = velocidad del sonido en el aire (343,2 m/s)

T = tiempo de reverberación estimado (según la Tabla 1 de valores óptimos)

- o Creación del ruido blanco

Según el CTE el ruido blanco se define como “ruido que contiene todas las frecuencias con la misma amplitud. Su espectro expresado como niveles de presión o potencia, en bandas de tercio de octava, es una recta de pendiente 3 dB/octava”. Se utiliza para efectuar las medidas normalizadas [12].

Con el programa de software Audacity instalado en el ordenador, se crea un ruido blanco y se reproduce con unos altavoces durante 8 s a un volumen alto (Imagen 2).

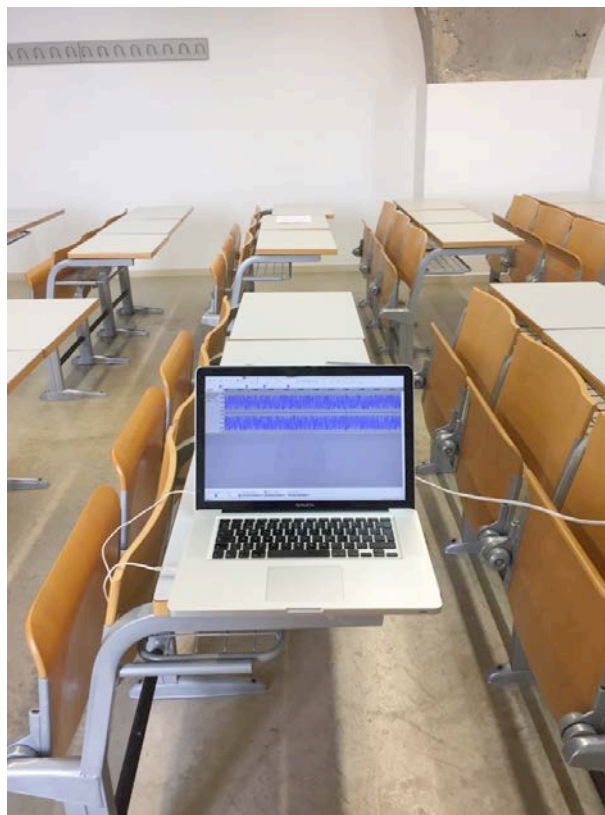


Imagen 2 Creación del ruido blanco con el programa “Audacity”

- o Medición

El sonómetro deberá estar configurado en “fast” y el tiempo de muestreo a la hora de medir deberá ser de 0,1 s. Los datos se tomarán conectando el sonómetro al ordenador, de manera que se observan las mediciones en tiempo real en la pantalla del ordenador. Se medirá hasta 4 s después de que cese el ruido blanco, cuando se haya alcanzado un valor estable (Imagen 3).



Imagen 3 Toma de datos usando con el sonómetro y el ordenador portátil

- o Procesamiento de datos

La medición anterior se transformará en un fichero de texto, y se procederá a analizar los valores con una hoja de Excel.

Se determina gráficamente el descenso del nivel sonoro desde que cesa de emitir de la fuente y hasta alcanzar de nuevo un valor estable. Identificando el valor estacionario inicial y final, se halla la pendiente de la recta. La pendiente se halla por un ajuste de mínimos cuadrados. Se mide empezando desde que cae 5 dB(A) desde el valor inicial hasta que disminuye 25 dB(A) respecto del valor inicial. De esta manera se calcula el T_{20} y se halla en cuánto tiempo disminuye el nivel sonoro 60 dB(A) o Tr. Se hallan los distintos Tr individuales para luego calcular un valor medio.

4.1.2 Determinación experimental de la inteligibilidad de la palabra

La inteligibilidad de la palabra hace referencia a la buena o mala comprensión del mensaje oral [11]. Existen muchos parámetros que la caracterizan, como el RASTI (“Rapid Speech Transmission Index”) o el % ALCons (“Percentage Articulation Loss of Consonants” o Pérdida de Articulación de las Consonantes). El parámetro usado en este estudio para medir la inteligibilidad de la palabra es el STI (acrónimo en inglés de “Speech Transmission Index”, o “Índice de transmisión del discurso”).

Según la revisión bibliográfica realizada, en el caso de salas cuyo objetivo sea transmitir un mensaje oral la comprensión del mensaje es el parámetro acústico más relevante [4]. Es un parámetro ligado al Tr, al ruido de fondo y a las características del recinto. En un mensaje oral la duración y el nivel de presión sonora de las vocales son mayores que el de las consonantes. Por otra parte en las vocales predominan las frecuencias bajas, mientras que en las consonantes son las frecuencias altas. En consecuencia, si un recinto cuenta con una reverberación alta, el descenso del nivel de presión sonora de las vocales se produce más lentamente que el de las consonantes, provocando un solapamiento temporal entre ambas [5].

De otra forma, cuando el ruido de fondo es elevado se produce en la sala un enmascaramiento de los sonidos más débiles, viéndose minada la comprensión de las consonantes, que aportan la mayor parte del mensaje. Si se confunde una consonante dentro de una palabra puede cambiar totalmente el sentido de la oración [17].

Mediante la determinación del STI se puede cuantificar porcentualmente que cantidad de mensaje oral llega correctamente al receptor. Se ha establecido una escala para cuantificarlo del 0 al 1, siendo 1 el valor óptimo de inteligibilidad [15]. Se emite un ruido impulsivo desde un punto del aula y se mide desde el punto de vista del receptor, evaluándose la respuesta del aula a este sonido. Esto quiere decir que el ruido de fondo y la reverberación influye para calcular este coeficiente señal/ruido [5].

Carrión, usando el método llamado % ALConst, aconseja unos resultados de inteligibilidad en torno al 5% en recintos destinados a palabra hablada [5]. Según el método STI, esto correspondería a unos valores entorno al 0,6 (Tabla 2).

%ALCons	STI / RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 - 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 - 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,50 - 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 - 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 - 0,34	Mala

Tabla 2 Relación % ALCons - STI y valoración subjetiva [4]

El BB93 por su parte, también establece un valor $\geq 0,6$ s [14].

El protocolo seguido para realizar la medición es el expuesto en "Acoustic measurement and noise metrics" [18] como se expone a continuación:

- Equipamiento:

Para efectuar estas medidas se necesita un ordenador portátil para grabar el sonido y un ruido impulsivo, como el de un globo que se explota.

- Posicionamiento de los aparatos de medida:

Se coloca la fuente de medida en la posición que ocuparía un alumno en clase. El globo a explotar ocuparía la posición del profesor. Se toman 6 medidas según las diferentes posiciones de los alumnos en las aulas.

- Medición:

Con la ayuda de nuevo del programa “Audacity” se graba la explosión del globo. Es necesario quedarse solo con la parte de la explosión y copiarla en un archivo nuevo. Se exportan los datos a un fichero de texto.

- Procesamiento de datos:

Para calcular el STI se introduce el fichero de texto en el programa MatLab que calcula el STI desde la posición donde se ha producido el sonido impulsivo.

4.1.3 Determinación del ruido de fondo

El ruido de fondo es todo ruido que se percibe cuando no se está realizando ninguna actividad en el interior del recinto. Este ruido depende del existente en el exterior del recinto, debido al tráfico, a los agentes atmosféricos, a fuentes de ruido internas de la propia edificación, al ruido de impactos, el debido a la instalaciones de climatización o de fontanería, a aparatos electrónicos, etc. [1].

Se puede también definir el ruido de fondo como “el nivel de presión acústica que se supera durante el 90% de un tiempo de observación suficientemente significativo, en ausencia del ruido objeto de inspección” [5].

Siendo L_d el índice de ruido de día, definido como “Índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo día y definido como el nivel sonoro medio a largo plazo, ponderado A, determinado a lo largo de todos los periodos día de un año” [12] se usará la Tabla 3 para determinar si el recinto cumple con los requisitos según la normativa española [19].

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Tabla 3 Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a uso educativo [19]

Los valores de esta Tabla 3 hacen referencia a las emisiones acústicas que inciden dentro del aula, ya sean debidas a las propias de las instalaciones del edificio, de actividades del recinto o de espacios colindantes o al ruido ambiental que se trasmite al interior [12]. Dichas emisiones no deben superar en ningún caso 40 dB.

Recuerdo coincide con lo establecido en la normativa anteriormente definida [13]. Por su parte, Carrión [4] evalúa la molestia de un determinado ruido mediante la comparación del mismo en diferentes bandas de octava, agrupadas en un conjunto de curvas de referencia llamadas "Noise Criteria" (NC). El nivel de ruido puede traducirse también en nivel global de presión sonora [dB(A)], que es la unidad de medida del sonómetro empleado en este Trabajo. En la Tabla 4 se puede observar la equivalencia en dB(A) de las curvas NC.

RECINTO	CURVA NC	EQUIVALENCIA EN dB(A)
Teatros	20-25	30-35
Aulas	25	35
Salas de conferencias	25	35
Salas de reuniones	25-30	35-40
Cines	30	40

Tabla 4 Valores máximos de ruido de fondo [11]

Por su parte la normativa estadounidense hace referencia a un valor máximo de 35 dB(A), por lo que es algo más restrictiva en este aspecto [14].

Cabe destacar que las mediciones no se realizaron con la ETSIT a pleno funcionamiento pues se tomaron el día 1 de septiembre, durante el día, cuando solo se estaba realizando algún examen, pero sí con todas las áreas de la Biblioteca y del Servicio de Documentación de la UPCT en completo uso.

El protocolo a seguir para la medición del ruido de fondo ha sido el siguiente:

- Equipamiento:

Se usan los sonómetros configurados en “fast” con un tiempo de muestreo de 0,1 s.

- Posicionamiento:

Será el mismo que el determinado por los puntos de reverberación y/o STI según las características del aula.

- Medición:

Se mide con el sonómetro conectado al ordenador durante 30 s

- Procesamiento de datos:

Con una hoja de Excel se calcula el nivel sonoro medio en dB(A) en cada uno de los puntos anteriores. El CTE define el nivel medio de presión sonora en un recinto como “ el nivel correspondiente al promedio temporal y espacial del cuadrado de la presión acústica, extendiendo el promediado espacial al interior del recinto exceptuando las zonas de radiación directa de las fuentes y las próximas a las paredes, suelo y techo” [12]. Eliminando previamente los valores atípicos se calcula mediante la expresión siguiente Ecuación 2:

$$L = 10 \cdot \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \quad [\text{dB}]$$

Ecuación 2 Nivel de presión sonora

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECINTOS

El edificio objeto de estudio está situado en Cartagena, Murcia, en el sureste peninsular de España (Imagen 4).



Imagen 4 Situación de la ciudad de Cartagena

Cartagena está ubicada en el sureste de la península Ibérica. Pertenece a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Se encuentra a orillas del Mar Mediterráneo y cuenta con una trayectoria histórica muy importante, tres veces milenaria, siendo una de las ciudades más importantes de Hispania durante la época del Imperio Romano.

La edificación objeto de estudio forma parte de la UPCT. Concretamente está dentro del Campus de la Muralla de Mar (Imagen 5), junto con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, el Edificio de Laboratorios Docentes y el Edificio de I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación).



Imagen 5 Situación de la ETSIT dentro del Campus de la Muralla del mar

Este Campus se erigió recuperando para el uso civil un conjunto militar edificado en el Siglo XVIII, durante el reinado de Carlos III. Se emplaza entre el Cerro de la Concepción y el de Despeñaperros. En concreto la ETSIT era el Cuartel de Antiguones en esa época, que se denominó así por los numerosos restos arqueológicos encontrados allí [20].

En este área (Imagen 5) están situados además el antiguo Hospital de Marina (edificio también rehabilitado para la docencia superior, siendo la actual Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial) y la Plaza de Toros, todos ellos rodeados de la Muralla de Carlos III (también en época de Aníbal la ciudad estaba amurallada) [21].

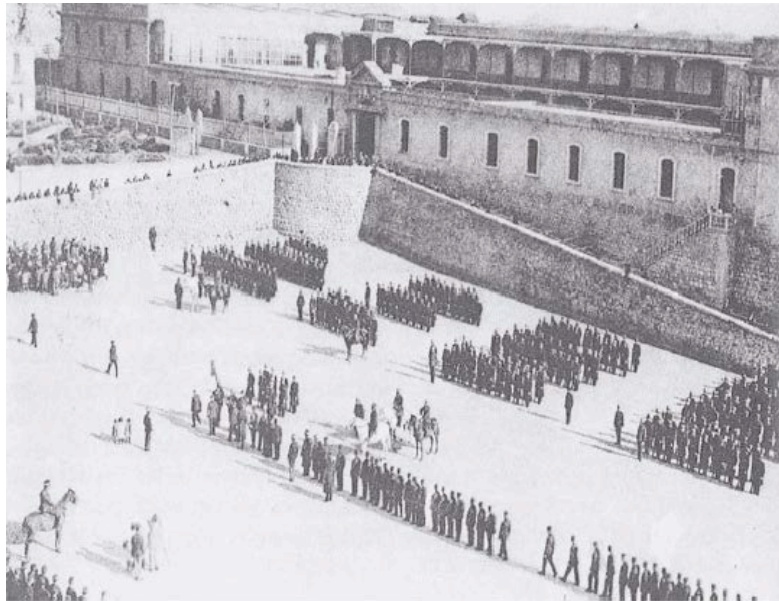


Imagen 6 Jura de bandera en la Plaza del Hospital 1920. Al fondo el Cuartel de Antiguones [22]

El Cuartel de Antiguones fue obra del Ingeniero militar Mateo Vodopich y su construcción finalizó en 1779 (Imagen 6). Tuvo en su construcción problemas de cimentación debido al cerro rocoso donde se encuentra, lo que obligó a rebajar toda la zona hasta el nivel de planta baja.

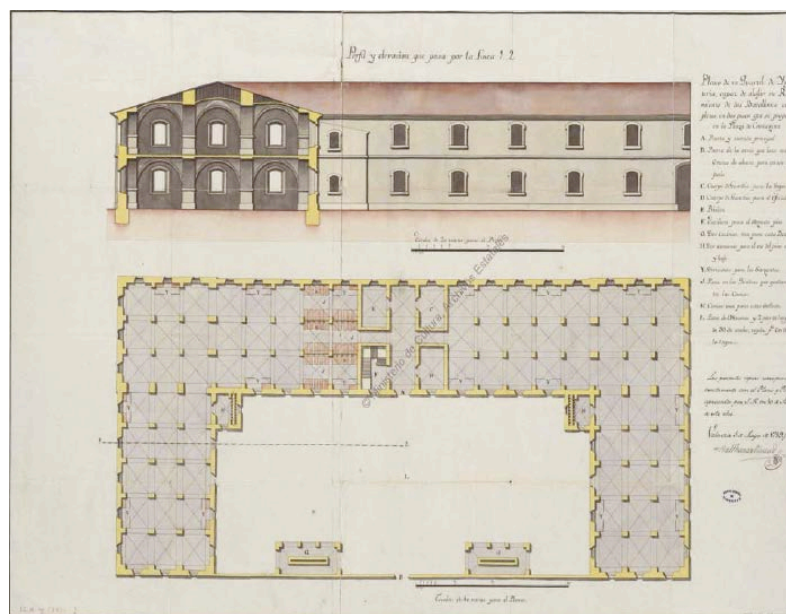


Imagen 7 Plano del Cuartel de Antiguones 1789 [22]

El edificio tenía una planta en forma de U con naves abovedadas de tres crujiás (Imagen 7). La materialidad interior contaba con pilares de sillería, bóvedas catalanas y bóvedas con ladrillos a sardinel. La fachada estaba compuesta de

muros de mamposterías y aristas reforzadas con sillares de piedra [22].

En 1993 este edificio pasó a depender del Ayuntamiento de Cartagena, tras el desalojo por el Ejército. En 2002 comenzaron las obras de rehabilitación para convertir el antiguo Cuartel en un edificio docente. La rehabilitación, obra del arquitecto Martín Lejarraga, se basaba en la recuperación de los tres cuerpos originales del Cuartel, manteniendo las naves abovedadas y creando un nuevo cuerpo al frente de la U dedicado a albergar despachos y recepción (Imagen 8). Se proyectaron grandes espacios diáfanos en el interior, sin compartimentar o con leves compartimentaciones para ensalzar los espacios abovedados [23]. En el Anexo se aportan los planos de las tres plantas a escala del edificio tras la rehabilitación.



Imagen 8 Fachada principal de la ETSIT



Imagen 9 Testero Norte de la ETSIT



Imagen 10 Fachada Posterior de la ETSIT



Imagen 11 Testero Sur de la ETSIT



Imagen 12 Patio interior de la ETSIT visto desde el Norte

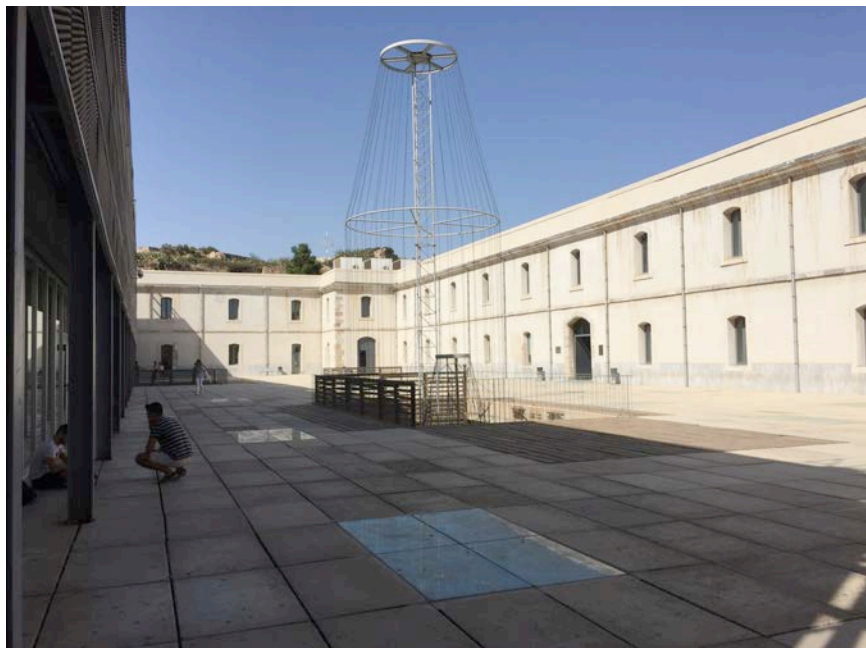


Imagen 13 Patio interior visto desde el Sur

Las obras finalizaron oficialmente en mayo de 2006. En total se alcanzaron los 16.680 m² (de los que 10.000 m² son rehabilitación del antiguo Cuartel y 6.680 m² de nueva construcción, contando los sótanos y el edificio departamental) [22].

La edificación en su conjunto cuenta en la Planta baja con una gran Biblioteca y el Servicio de Documentación, aulas, conserjería y una cafetería; en la planta primera existen aulas, sala de conferencias, sala de reuniones y despachos; en la Planta sótano se encuentran los laboratorios docentes.

Como se ha indicado, el objetivo de este Trabajo ha sido evaluar el espacio docente y como muestras representativas del mismo se han seleccionado dos aulas situadas en la Planta baja (PB.1 y PB.6), dos aulas en la Planta primera (P1.11 y P1.12) y un laboratorio docente de la Planta sótano.

4.2.1 Planta baja

En esta Planta la actividad docente se desarrolla en el ala derecha, como se observa en la Imagen 14, un aula grande (PB.1) y otra más pequeña (PB.6).

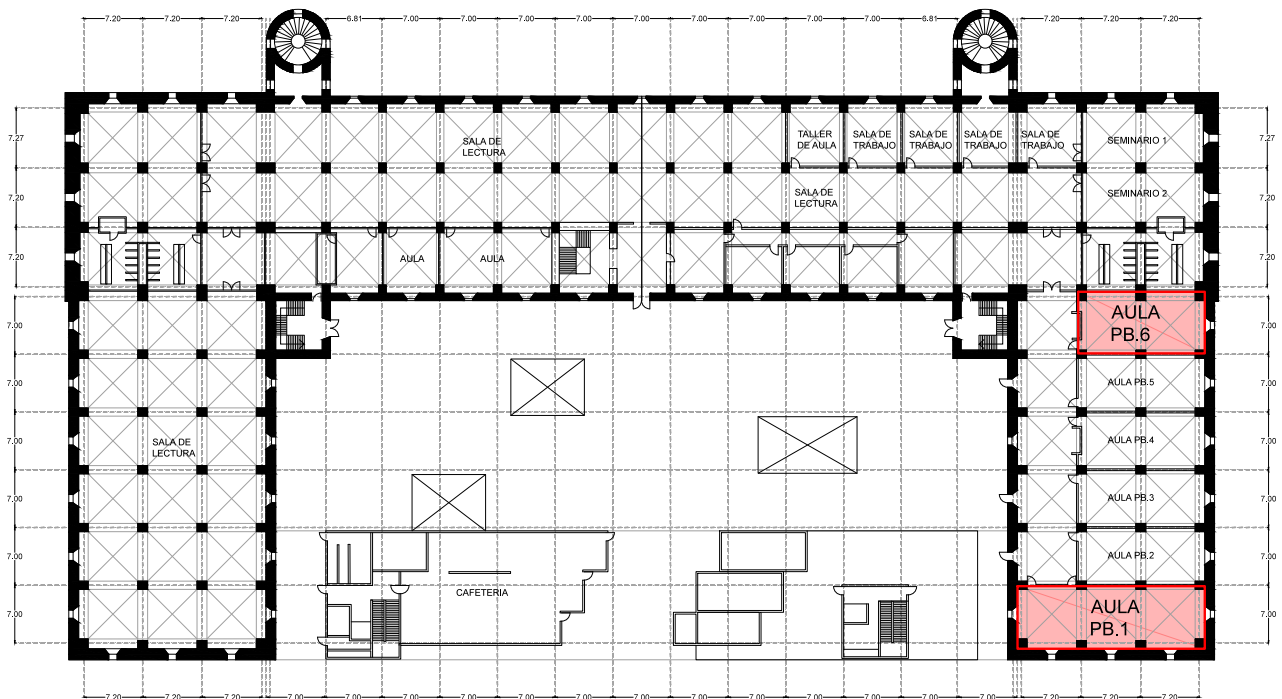


Imagen 14 Plano de Planta baja de la ETSIT



Imagen 15 Pasillo de aulas de la Planta baja de la ETSIT

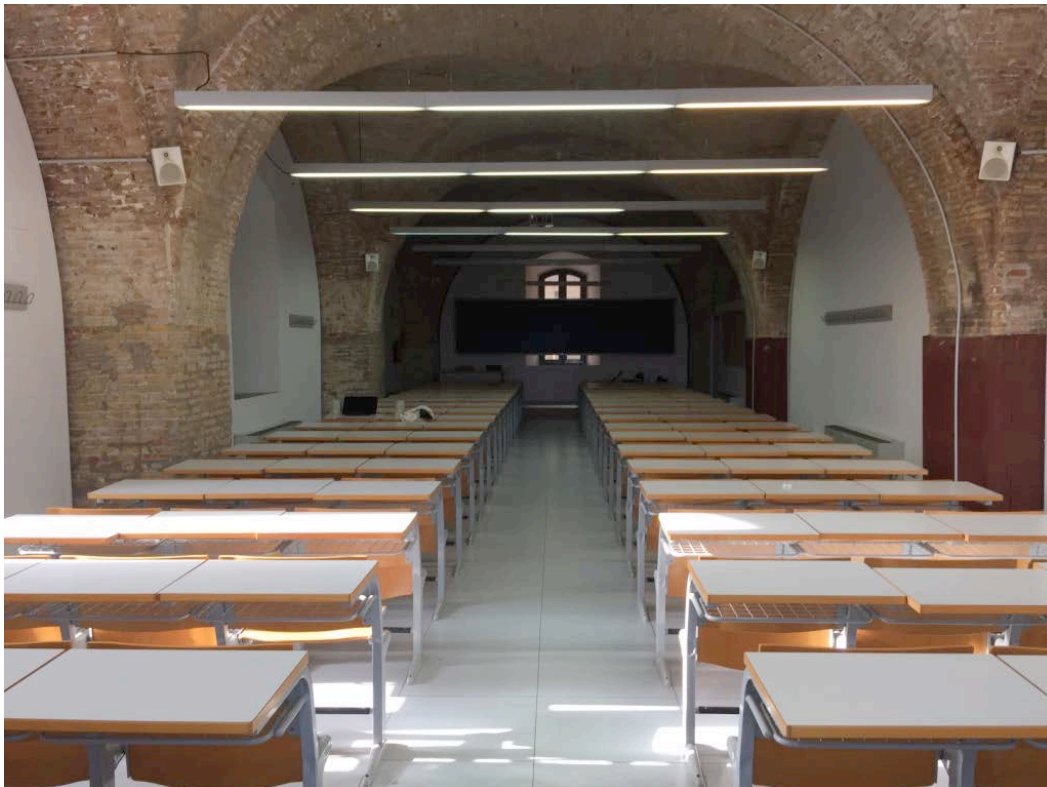
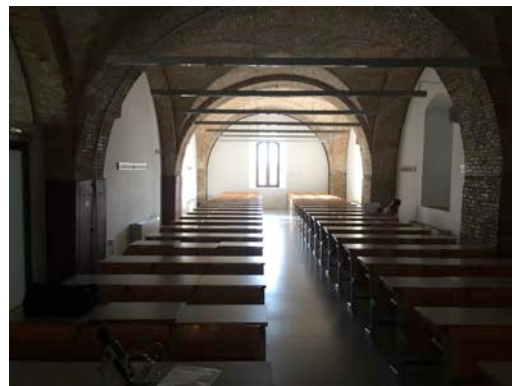


Imagen 16 Vistas del Aula PB.1 de la ETSIT

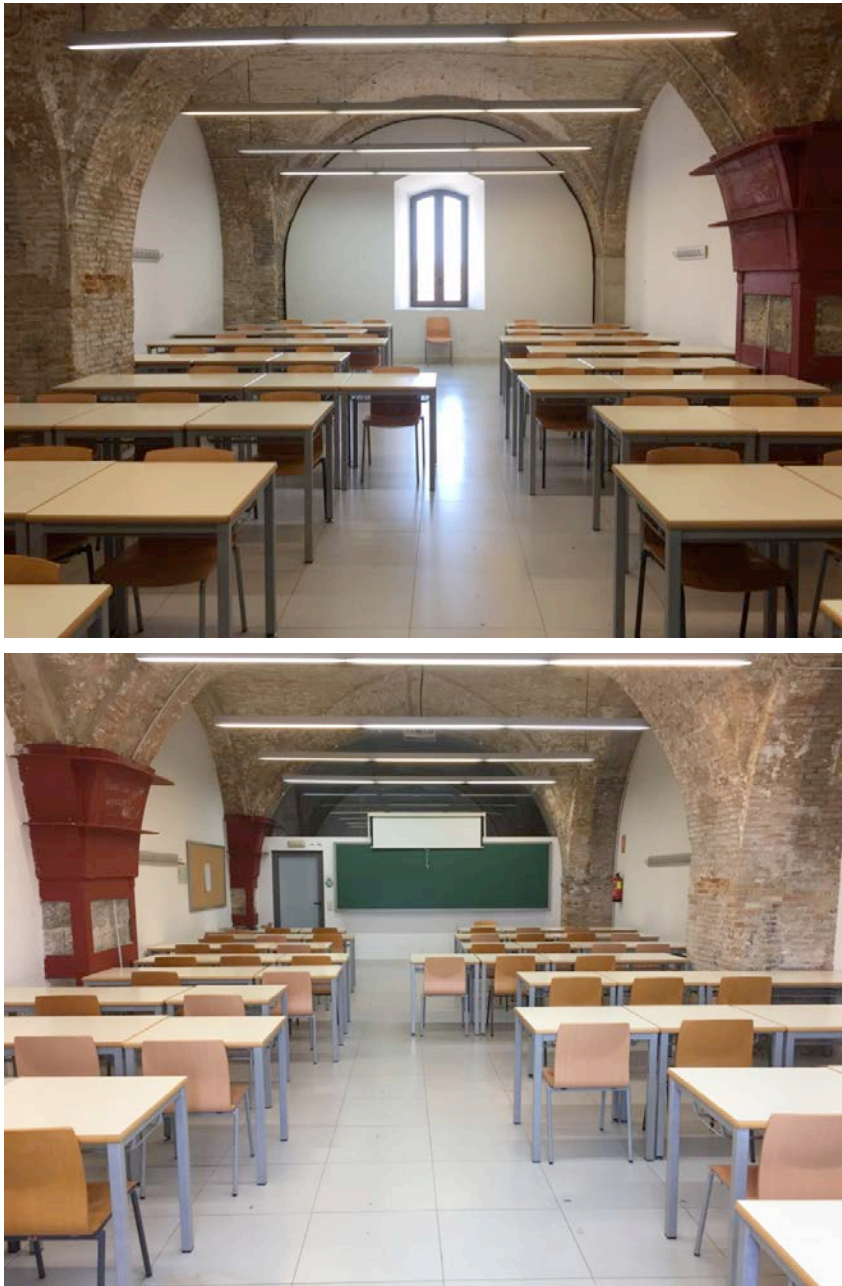


Imagen 17 Vistas del Aula PB.6 de la ETSIT

La materialidad de estas aulas está definida como sigue (Imagen 18):

- Paredes: mampostería
- Separaciones interiores: cartón yeso y vidrio
- Techo: mampostería
- Suelo: suelo técnico
- Mobiliario: madera lacada
- Puertas y ventanas: carpintería de PVC



Imagen 18 Materialidad de la estructura en la Planta baja de la ETSIT

4.2.2 Planta primera

En esta Planta se imparten la mayor parte de las clases de la ETSIT. Como salas más representativas se han estudiado el aula P1.12 entre las grandes y el aula P1.11 entre las pequeñas, siguiendo el mismo criterio que en la Planta baja (Imagen 19).

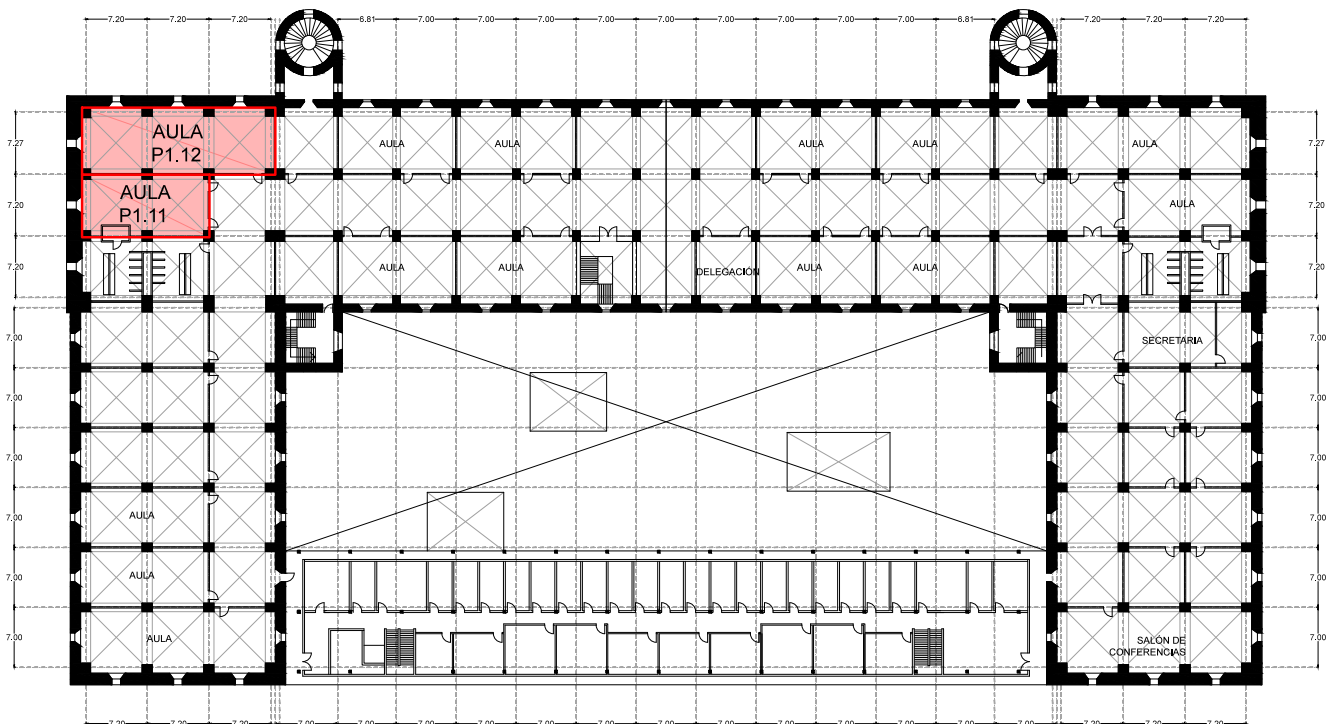


Imagen 19 Plano de la Planta primera de la ETSIT



Imagen 20 Pasillo de aulas de la Planta primera de la ETSIT

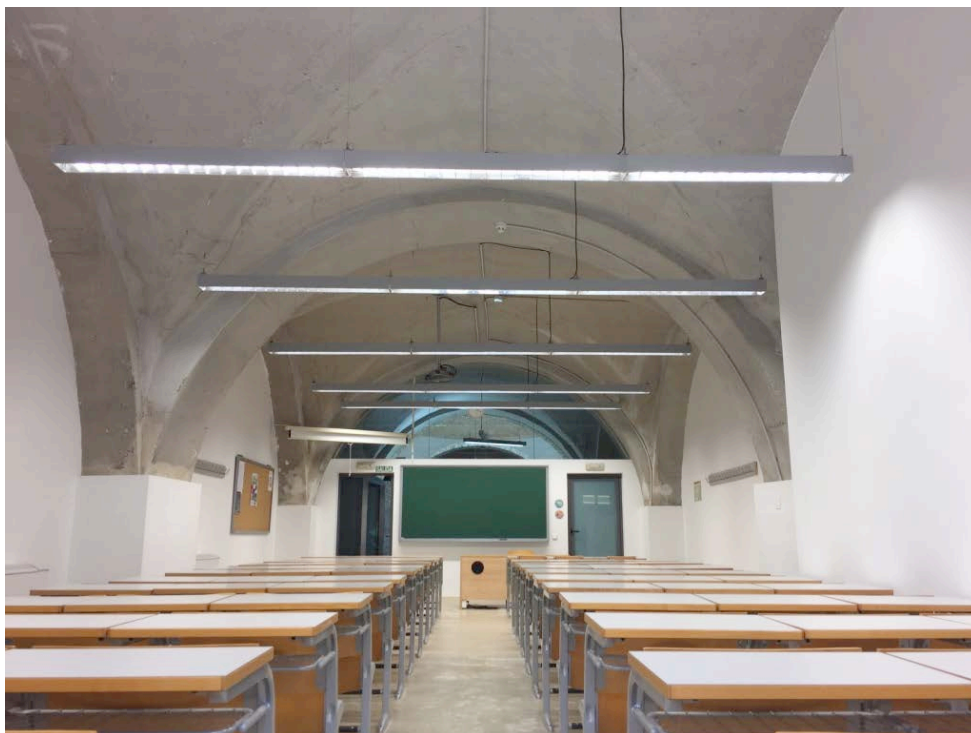


Imagen 21 Vistas del Aula P1.11de la ETSIT



Imagen 22 Vistas del Aula P1.12 de la ESTIT

La materialidad de estas aulas (Imagen 23) está definida como sigue:

- Paredes: hormigón visto
- Separaciones interiores: cartón yeso y vidrio
- Techo: hormigón visto
- Suelo: hormigón pulido
- Mobiliario: madera lacada
- Puertas y ventanas: carpintería de PVC



Imagen 23 Materialidad en las aulas de la Planta primera de la ETSIT

4.2.3 Sótano

En la Planta sótano de nueva construcción que se le ganó al antiguo Cuartel se ubicaron los laboratorios docentes. Se ha seleccionado para este estudio el laboratorio TSC-5 como representativo y quizás más desfavorable, ya que cuenta con un lucernario y vuelca a un patio interior (Imagen 24).

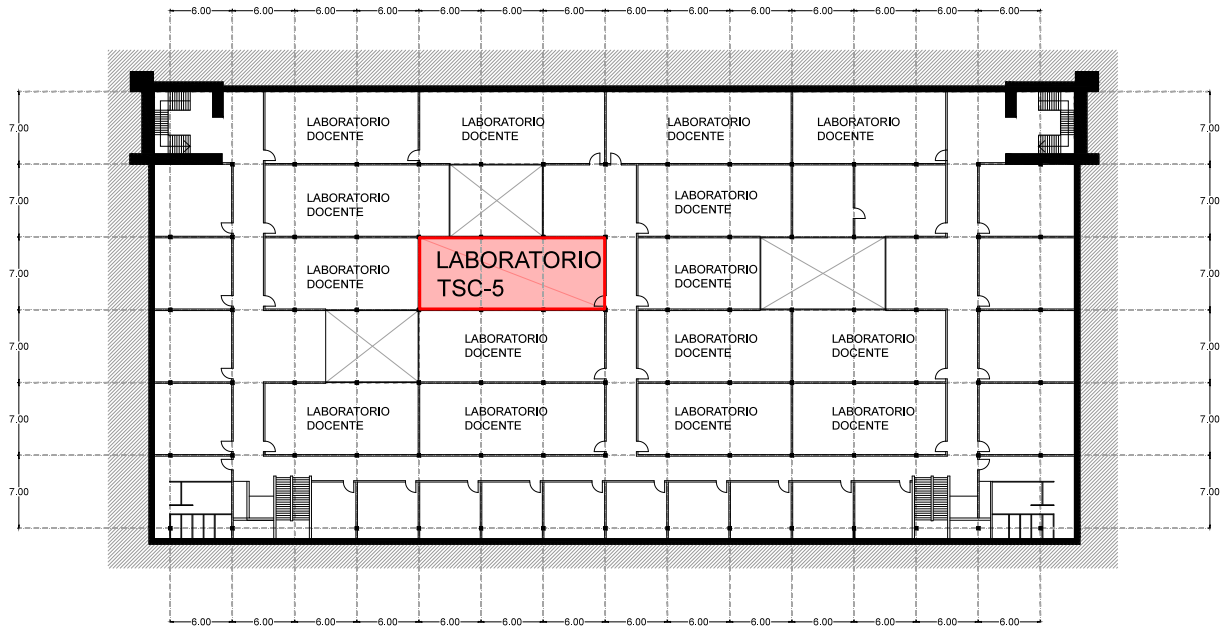


Imagen 24 Plano de la Planta sótano de la ETSIT



Imagen 25 Patio de luz en la Planta sótano de la ETSIT



Imagen 26 Vistas del Laboratorio TSC-5 de la ETSIT

En cuanto a los materiales en esta sala (Imagen 26) son:

- Paredes: cartón yeso
- Separaciones interiores: cartón yeso y vidrio
- Techo: hormigón visto y lucernario de vidrio

- Suelo: hormigón pulido
- Mobiliario: madera lacada y metálico
- Puertas y ventanas: carpintería de PVC

4.3. EQUIPAMIENTO

Para la toma de medidas necesarias en la realización de este estudio y la obtención de los parámetros acústicos a analizar, ha sido necesario el empleo de varios elementos que a continuación se detallan:

4.3.1 Sonómetro

El oído humano es un órgano muy complejo, y todavía no se han inventado instrumentos capaces de transmitirnos la medida objetiva de un sonido. Sin embargo la existencia de equipos de medida electrónicos, como los sonómetros, permiten medir sonidos dentro unos márgenes conocidos y aportar datos objetivos.

Los sonómetros realizan medidas en niveles de presión sonora [dB(A)]. Efectúan medidas globales o medidas en bandas de frecuencia según diferentes respuestas temporales (“fast”, “slow”, “impulse” o “Peak”) [4].

En este Trabajo se ha utilizado el modelo DVM 8552 de Velleman, cedido por la UPCT (Imagen 27). Este medidor profesional tiene memoria para 32.7000 mediciones, indicación gráfica, función máx./min, visualización de señal, rango de 30-130 dB, entre otras características. El software del aparato está disponible online en su web [24].



Imagen 27 Sonómetro Velleman DVM 8552 [24]

4.3.2 Ordenador portátil

Se han utilizado dos ordenadores portátiles en este estudio. Uno es un HP 250 G4 Notebook PC con Windows 10, donde se ha instalado el software del sonómetro (Imagen 28). El otro ordenador empleado es un Macbook Pro del 2011 y se ha usado para grabar medidas y emitir ruidos mediante el programa “Audacity (Imagen 29).”.

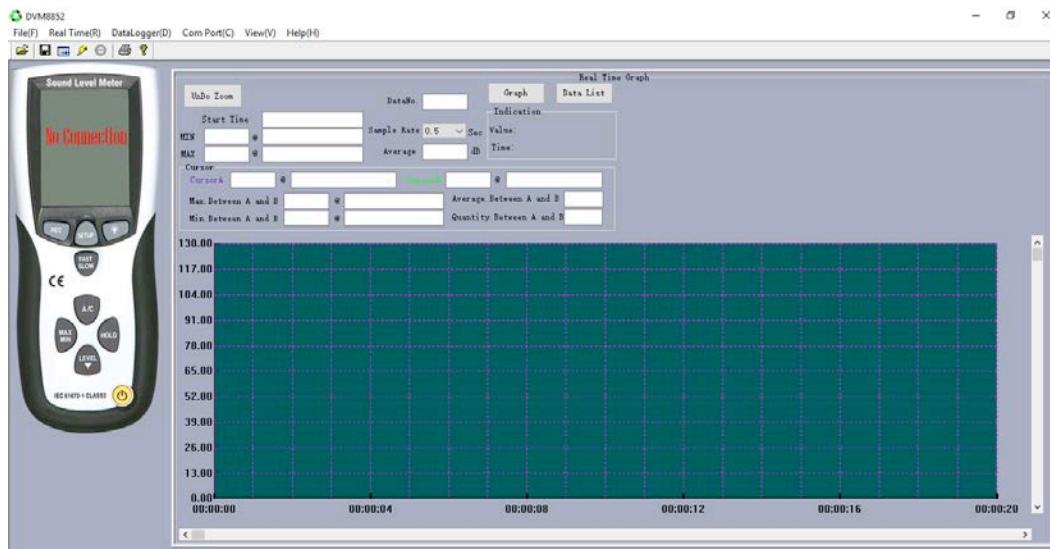


Imagen 28 Software del sonómetro Velleman DVM 8552

El “Audacity” es un software libre, que se puede descargar a través de su web, y permite grabar en vivo a través del micrófono del ordenador, digitalizar grabaciones y emitir diferentes ruidos [26]

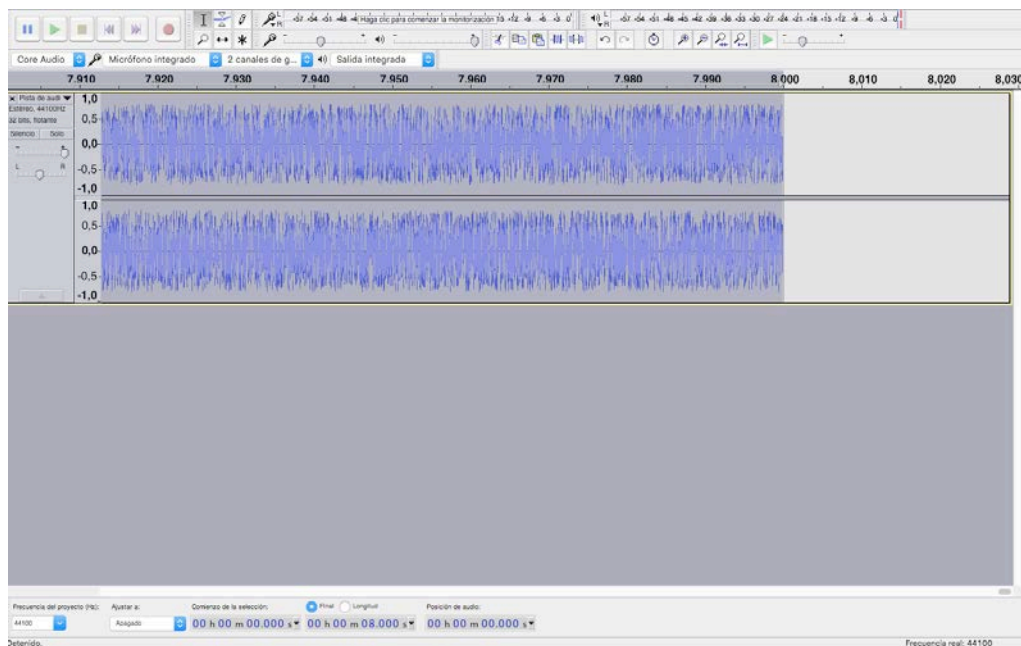


Imagen 29 Programa “Audacity”, creación de ruido blanco

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las mediciones de las distintas aulas y del laboratorio del edificio de la ETSIT-UPCT, realizadas durante la jornada del 1 de septiembre de 2017.

Además se ha realizado un estudio comparativo con los valores de referencia considerados óptimos obtenidos de una búsqueda bibliográfica. Se pueden resumir en la tabla siguiente.

	Carrión	CTE	Recuero	BB93
Tr	sala ocupada 0,7-1 s	> 0,5 s	sala vacía 0,8 - 1,5 s	sala vacía > 0,8 s
STI	0,6	-	-	0,6
RUIDO DE FONDO	35 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)	35 dB(A)

Tabla 5 Resumen de los valores de referencia de los parámetros acústicos según la bibliografía

5.1. AULA PB.1

Esta aula tiene una dimensión de 3 crujías, es mayor que la otra aula estudiada dentro de la Planta baja del edificio de la ETSIT. Se han realizado 3 medidas para cada una de las 6 posiciones diferentes que se observan en la Imagen 30. Como la altura máxima de las bóvedas es de 4 m se puede establecer un volumen total de 644,16 m³.

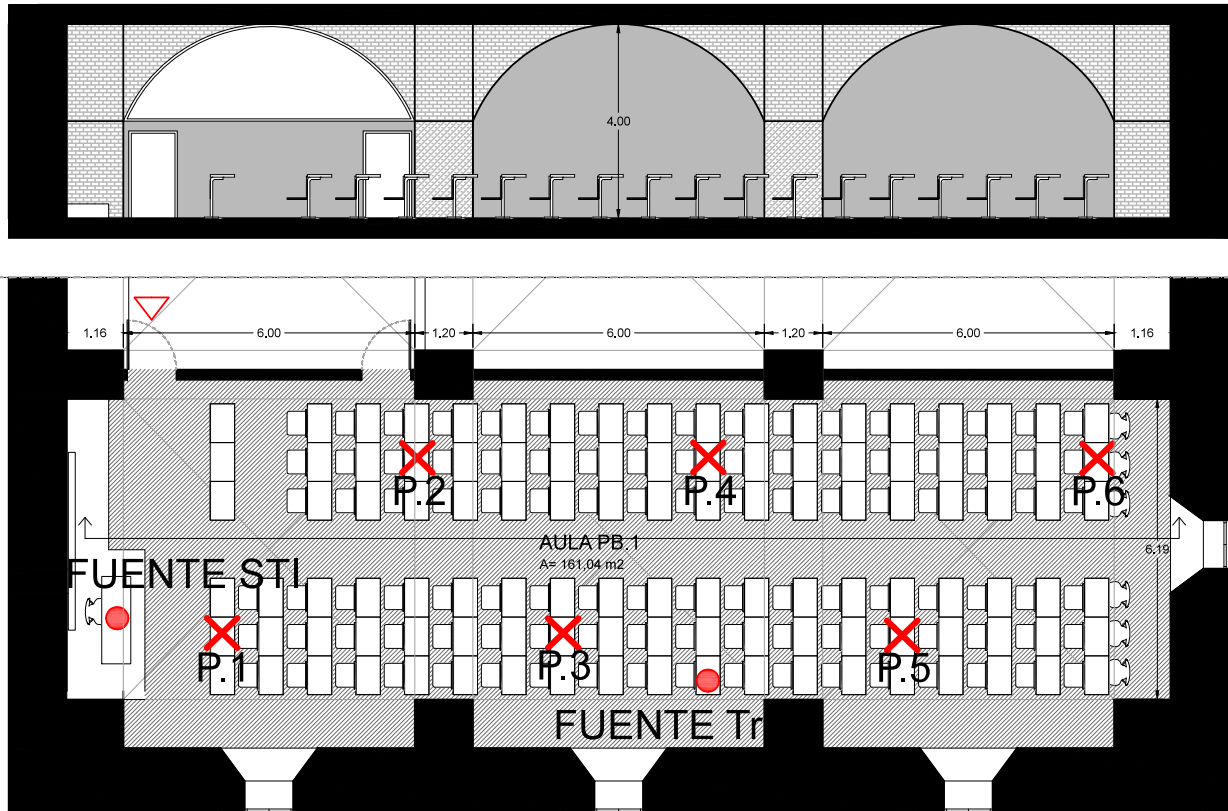


Imagen 30 Planta y alzado del aula PB.1 de la ETSIT.
Ubicación de los puntos para el estudio acústico

5.1.1 Ruido de fondo

En la Tabla 6 se muestran las medidas del ruido de fondo para cada uno de los seis puntos señalados y la media del ruido de fondo en el aula PB.1.

RUIDO DE FONDO	AULA PB.1
PUNTO 1	32,73
PUNTO 2	33,35
PUNTO 3	33,26
PUNTO 4	35,06
PUNTO 5	33,17
PUNTO 6	33,05
MEDIA dB(A)	33,44

Tabla 6 Ruido de fondo del aula PB.1

La media de ruido de fondo en la sala es de unos 33,5 dB(A), por lo que cumple con las exigencias establecidas en la Tabla 5 de referencia para aulas, tanto las exigidas por el CTE como las más restrictivas de Carrión y la BB93.

5.1.2 Tiempo de reverberación

En la Tabla 7 se aportan los valores del T_r de las tres medidas realizadas en cada punto. La fuente emisora estuvo situada en la mitad del aula, para así obtener valores más uniformes, localizadas en el plano anterior (Imagen 30), de tal manera que los puntos 3, 4 y 5 son los más cercanos a la fuente. En el Anexo se ha incorporado como ejemplo una de las gráficas de la curva de decaimiento energético usada para medir el T_{20} y el T_r .

AULA PB.1	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
MEDIDA 1	4,77	5,16	2,8	2,95	4,44	4,89
MEDIDA 2	5,67	4,11	3,78	3,19	3,77	6,83
MEDIDA 3	4,86	3,83	3,13	3,41	4,57	3,83
MEDIA (s)	5,10	4,37	3,24	3,18	4,26	5,18

MEDIA TOTAL (s)	4,22
VARIANZA	0,87

Tabla 7 Tiempo de reverberación del aula PB.1

La media fue de 4,22 segundos, muy por encima de cualquier valor deseable según la Tabla 5. Ello es debido a la singular geometría abovedada de la sala, que favorece el eco y también el enmascaramiento de la palabra. Conforme se aleja de la fuente se van obteniendo reverberaciones más elevadas (peores), llegando a valores realmente muy altos para tratarse de una sala educativa.

5.1.3 STI

En cuanto a la claridad de la palabra determinada por el método STI la Tabla 8 muestra el resumen de las mediciones realizadas en cada uno de los 6 puntos. La fuente se ubicó en este caso sobre la mesa del profesor, y cada uno de los puntos hace referencia a la posición del alumno repartido por la sala (Imagen 30).

STI	AULA PB.1
PUNTO 1	0,56
PUNTO 2	0,53
PUNTO 3	0,56
PUNTO 4	0,54
PUNTO 5	0,57
PUNTO 6	0,59
MEDIA	0,56

Tabla 8 STI del aula PB.1

Según los datos de la Tabla 2 se trataría de una inteligibilidad “aceptable”, pero comparándola con la calidad que debería tener según el uso no cumpliría con lo exigido en la Tabla 5. Aunque el alumno situado en el punto 1 es el más cercano al profesor, es en el punto 6 donde se ha obtenido una inteligibilidad más cercana a ser valorada como buena. Este es debido, sin duda, a la especial geometría del aula, con bóvedas que favorecen las reflexiones de las ondas.

5.2. AULA PB.6

Este aula es más pequeña que la anterior y se encuentra igualmente en la Planta baja de la ETSIT. Tiene un volumen total de 428,64 m³, con una altura de 4 m de media.

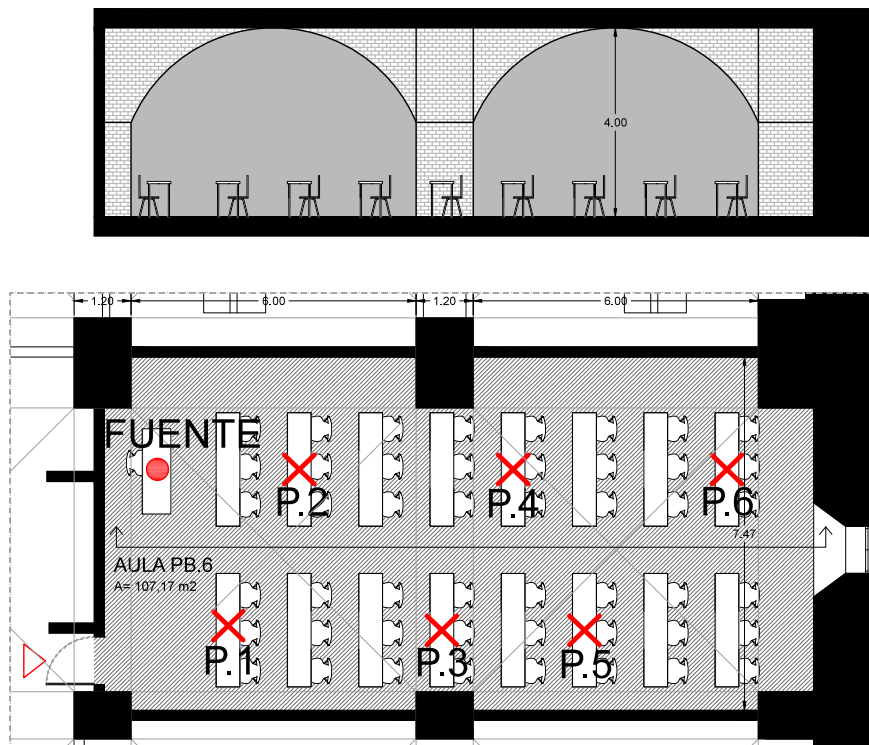


Imagen 31 Planta y alzado del aula PB.6 de la ETSIT.
Ubicación de los puntos para el estudio acústico

5.2.1 Ruido de fondo

En la Tabla 9 se recogen las medidas de ruido de fondo en cada uno de los puntos señalados en el plano anterior (Imagen 31).

RUIDO DE FONDO	AULA PB.6
PUNTO 1	33,45
PUNTO 2	33,65
PUNTO 3	33,35
PUNTO 4	33,24
PUNTO 5	33,35
PUNTO 6	33,56
MEDIA dB(A)	33,43

Tabla 9 Ruido de fondo del aula PB.6

Siendo la media calculada del ruido 33,5 dB(A) se puede afirmar que cumple con las exigencias de la Tabla 5 usada de referencia.

5.2.2 Tiempo de reverberación

A continuación se muestran los datos recabados en cada una de las 3 mediciones realizadas del Tr por cada punto del recinto, con la fuente situada sobre la mesa del profesor.

AULA PB.6	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
MEDIDA 1	4,46	2,41	3,18	4,85	3,57	4,01
MEDIDA 2	3,6	2,78	3,09	4,02	4,7	3,7
MEDIDA 3	3,39	3,09	3,41	3,64	4,3	3,66
MEDIA (s)	3,82	2,76	3,23	4,17	4,19	3,79
MEDIA TOTAL (s)	3,66					
VARIANZA	0,56					

Tabla 10 Tiempo de reverberación del aula PB.6

Igual que en el aula anterior el Tr medio de 3,66 dB(A) es muy superior al indicado en la Tabla 5. Se debe achacar estos altos valores a la geometría del aula y a los materiales de la misma. Cuanto más se aleja de la fuente mayor es la reverberación, teniendo en cuenta que el punto más alejado de la mesa del

profesor sería el correspondiente a la posición del alumno 5 (Imagen 31).

5.2.3 STI

Seguidamente se ofrecen los valores de STI para este aula (Tabla 11).

STI	AULA PB.6
PUNTO 1	0,53
PUNTO 2	0,61
PUNTO 3	0,44
PUNTO 4	0,55
PUNTO 5	0,48
PUNTO 6	0,47
MEDIA	0,51

Tabla 11 STI del aula PB.6

Aunque se considera una claridad “aceptable” del mensaje, al igual que en la PB.1, su inteligibilidad no cumple con lo exigido por la Tabla 5. A pesar de ser un aula con menor dimensión, su inteligibilidad es peor que la del Aula PB.1, situada en la misma planta y que cuenta con la misma materialidad.

5.3. AULA P1.11

Como se ha indicado este aula es la seleccionada en el formato de aulas pequeñas de la Primera planta. Se han establecido 6 puntos de medición y la fuente se ubicó encima de la mesa del profesor (Imagen 32). El volumen de este aula es de 401,48 m³.

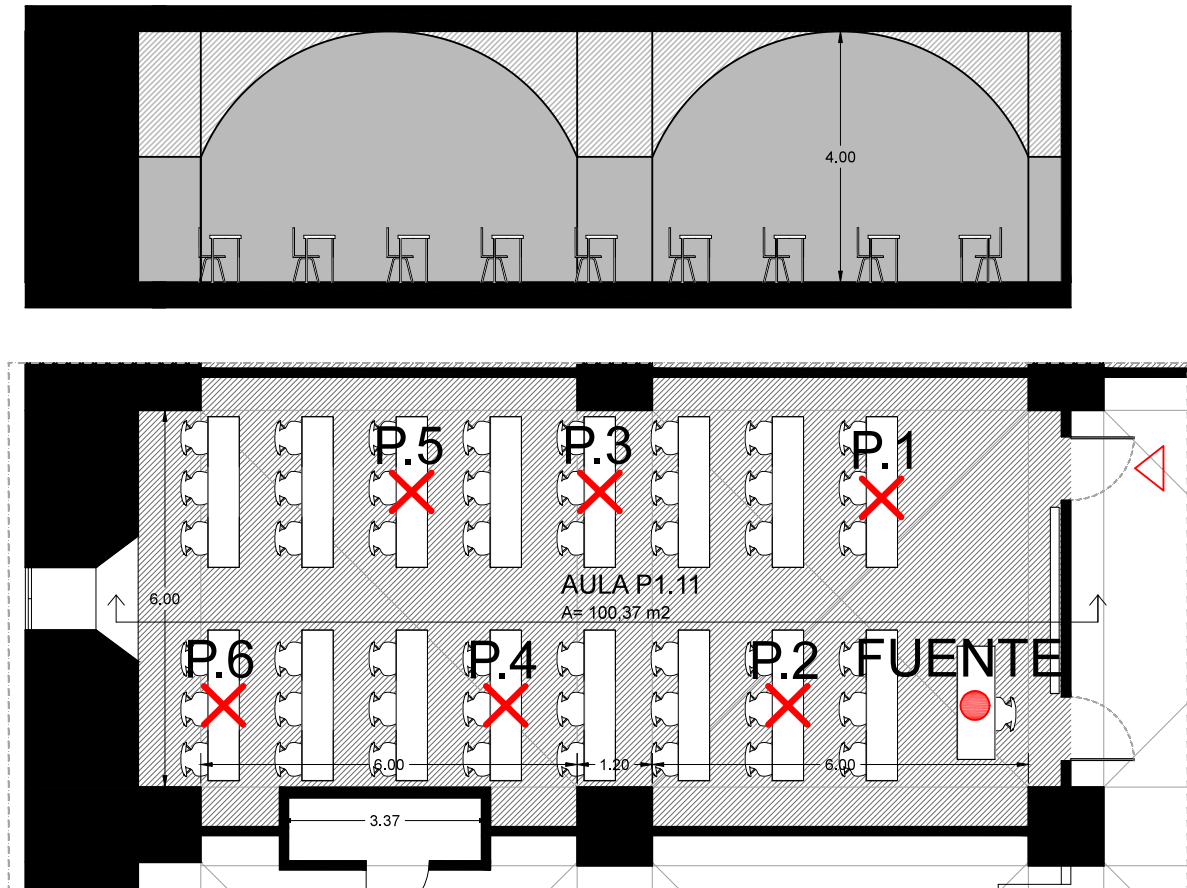


Imagen 32 Planta y alzado del aula P1.11 de la ETSIT.
Ubicación de los puntos para el estudio acústico

5.3.1 Ruido de fondo

Seguidamente se exponen los resultados obtenidos para el ruido de fondo en esta sala (Tabla 12).

RUIDO DE FONDO	AULA P1.11
PUNTO 1	31,11
PUNTO 2	31,06
PUNTO 3	31,45
PUNTO 4	30,75
PUNTO 5	30,36
PUNTO 6	31,86
MEDIA dB(A)	31,10

Tabla 12 Ruido de fondo del aula P1.11

La media de las medidas del aula es 31 dB(A), algo menor que en las aulas de la Planta baja. Igualmente cumple con los criterios de referencia de la Tabla 5.

5.3.2 Tiempo de reverberación

Se ofrecen en la Tabla 13 los resultados de las medidas del Tr, teniendo en cuenta que se colocó la fuente donde se encontraría el profesor.

AULA P1.11	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
MEDIDA 1	3,08	2,94	3,65	3,37	3,25	3,14
MEDIDA 2	3,04	3,02	3,11	3,42	3,39	3,42
MEDIDA 3	2,95	2,97	3,26	3,27	3,28	3,27
MEDIA (s)	3,02	2,98	3,34	3,35	3,31	3,28

MEDIA TOTAL (s)	3,21
VARIANZA	0,17

Tabla 13 Tiempo de reverberación del aula P1.11

El Tr medio obtenido de 3,21 s está muy por encima de lo recomendable en este tipo de local. La sala presenta la misma geometría que la PB.6, sin embargo el Tr es algo menor.

5.3.3 STI

Se muestra en la Tabla 14 los resultados obtenidos para el STI.

STI	AULA P1.11
PUNTO 1	0,47
PUNTO 2	0,48
PUNTO 3	0,45
PUNTO 4	0,43
PUNTO 5	0,41
PUNTO 6	0,44

MEDIA	0,45
-------	------

Tabla 14 STI del aula P1.11

La claridad del mensaje será baja en este caso, y no cumple con lo establecido en la Tabla 5. Además se debe considerar como “pobre” según la Tabla 2. Teniendo un volumen similar a la de la PB.6, su inteligibilidad es bastante peor.

5.4. AULA P1.12

Este aula de la Primera planta tiene unas dimensiones mayores que la P1.11, situada en la misma planta. Su volumen es de 630,92 m³, con bóvedas de 4 m de altura en su parte alta (Imagen 33).

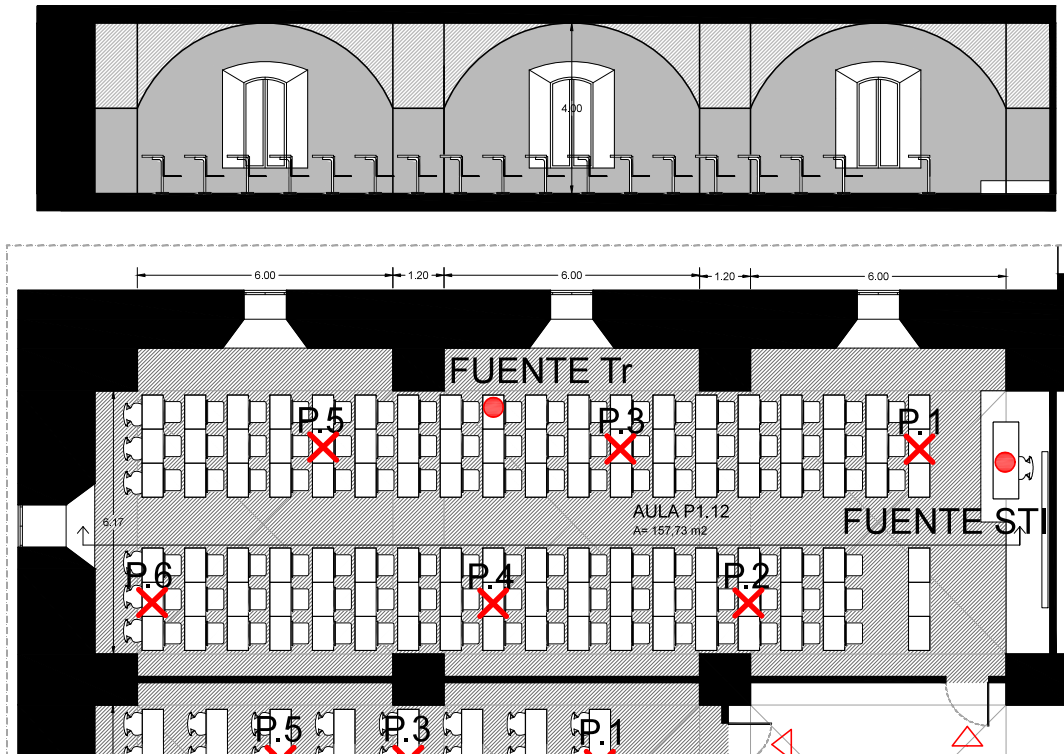


Imagen 33 Planta y alzado del aula P1.12 de la ETSIT.
Ubicación de los puntos para el estudio acústico

5.4.1 Ruido de fondo

Se resumen en la Tabla 15 las mediciones del ruido de fondo de los 6 puntos de referencia.

RUIDO DE FONDO	AULA P1.12
PUNTO 1	37,51
PUNTO 2	38,15
PUNTO 3	37,54
PUNTO 4	37,45
PUNTO 5	37,34
PUNTO 6	36,73
MEDIA dB(A)	37,45

Tabla 15 Ruido de fondo del aula P1.12

En este aula la media del ruido de fondo es de 37,5 dB(A). Según la Norma española está dentro de los límites pues es < 40 dB(A). Sin embargo, no cumpliría el máximo de 35 dB(A) de la norma estadounidense.

5.4.2 Tiempo de reverberación

En la Tabla 16 se recoge un resumen de las medidas de este parámetro en este aula, con la fuente localizada en un punto medio de la sala.

AULA P1.12	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
MEDIDA 1	5,39	4,64	3,82	3,30	3,61	4,26
MEDIDA 2	5,14	4,22	3,96	3,70	3,81	3,98
MEDIDA 3	5,81	4,48	4,37	3,47	3,28	4,03
MEDIA (s)	5,45	4,45	4,05	3,49	3,57	4,09

MEDIA TOTAL (s)	4,18
VARIANZA	0,71

Tabla 16 Tiempo de reverberación del aula P1.12

El valor de 4,18 s es demasiado elevado para un aula, según la Tabla 5. Se trata del caso más desfavorable en Tr de los estudiados en este Trabajo.

5.4.3 STI

El resultado de las medidas para el STI se observa en la Tabla 17. En este caso la fuente estaba situada sobre la mesa del profesor y los 6 puntos hacen referencia a las diferentes posiciones de los alumnos (Imagen 33).

STI	AULA P1.12
PUNTO 1	0,47
PUNTO 2	0,55
PUNTO 3	0,53
PUNTO 4	0,50
PUNTO 5	0,45
PUNTO 6	0,46
MEDIA	0,49

Tabla 17 STI del aula P1.12

El valor medio obtenido de 0,49, es un valor “pobre” de inteligibilidad y no cumple con lo exigido en la Tabla 5 ($> 0,5$). Comparándola con las aulas de la Planta baja, la inteligibilidad en las aulas de la Planta primera resulta más desfavorable, pasando de una categoría “aceptable” a una “pobre”.

5.5. LABORATORIO TSC-5

Como se ha indicado, este laboratorio se encuentra en la Planta sótano, alojado bajo el patio central interior de la ETSIT. Igualmente sus techos tienen una altura de 4 m, y su volumen es de 491,2 m³. Cuenta con un lucernario y una de sus medianeras vuelca a un patio de la zona común de la plaza interior de la ETSIT. De este recinto solo han analizado los valores del ruido de fondo y del Tr, pues la misión de este espacio no es impartir docencia, sino trabajar con el material electrónico existente.

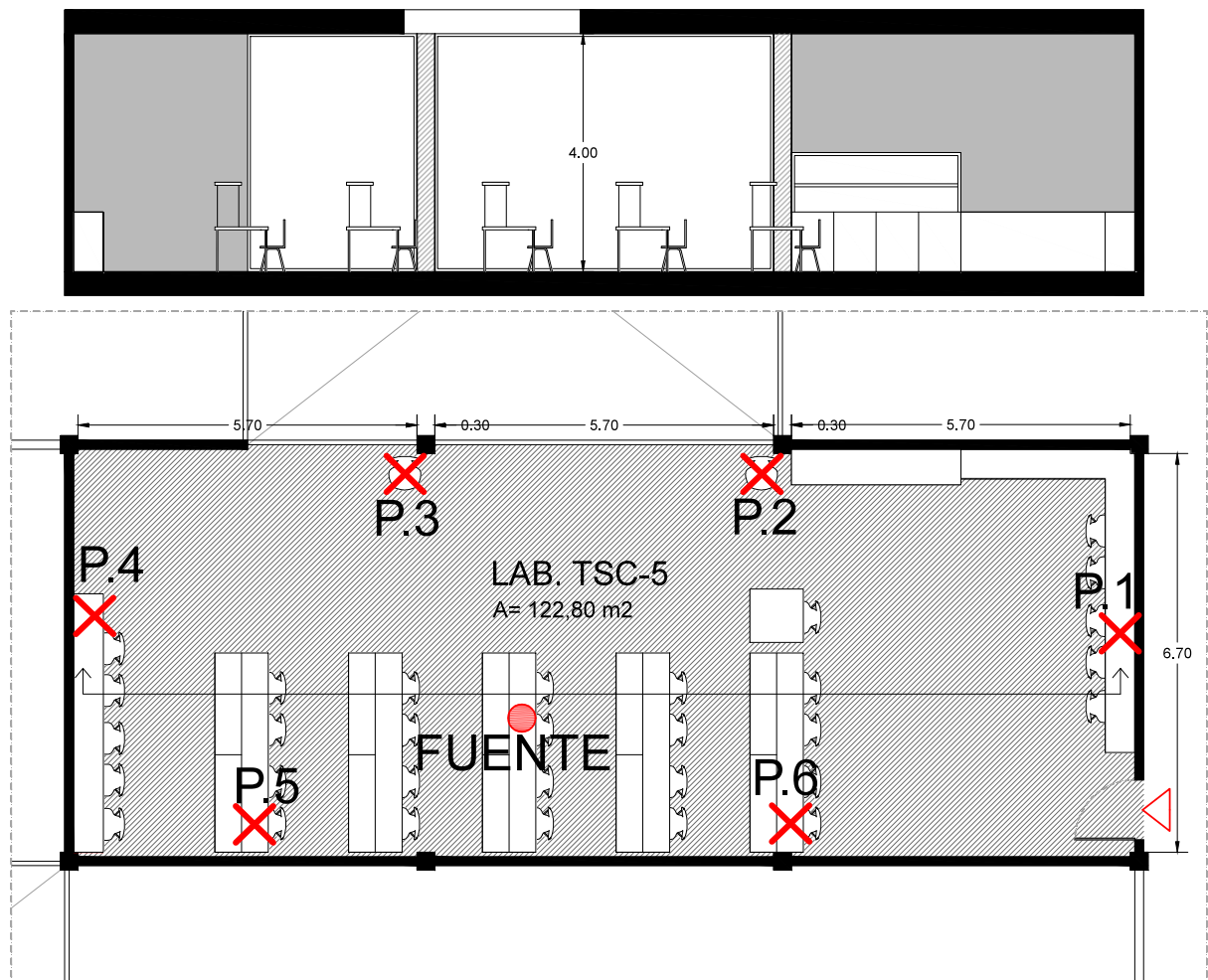


Imagen 34 Planta y alzado del laboratorio TSC-5 de la ETSIT.
Ubicación de los puntos para el estudio acústico

5.5.1 Ruido de fondo

Las medidas de ruido de fondo en este laboratorio en cada punto (Imagen 34) son las siguientes:

RUIDO DE FONDO	LAB TSC-5
PUNTO 1	32,52
PUNTO 2	33,97
PUNTO 3	33,46
PUNTO 4	33,06
PUNTO 5	33,35
PUNTO 6	33,46
MEDIA dB(A)	33,30

Tabla 18 Ruido de fondo del laboratorio TSC-5

Según lo indicado en la Tabla 5 en este recinto el valor medio obtenido de 33,30 dB(A) cumple con la normativa española al ser < 40 dB(A) y estadounidense < 35 dB(A).

5.5.2 Tiempo de reverberación

Localizada la fuente en un punto medio en la sala (Imagen 34), las medidas del Tr de cada uno de los seis puntos se recogen en la Tabla 19.

LAB. TSC-5	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
MEDIDA 1	3,55	3,42	3,31	4,51	3,98	4,74
MEDIDA 2	3,18	4,09	3,3	4,22	4,08	3,62
MEDIDA 3	2,76	3,53	4,04	3,82	4,72	3,91
MEDIA (s)	3,16	3,68	3,55	4,18	4,26	4,09

MEDIA TOTAL (s)	3,82
VARIANZA	0,43

Tabla 19 Tiempo de reverberación del laboratorio TSC-5

En este caso la media de las mediciones es de 3,82 s siendo un valor muy por encima del resultado mínimo exigido por la normativa (> 0,5).

5.6 RESUMEN

Seguidamente se ofrece el resumen de las distintas determinaciones experimentales que se han realizado.

5.6.1 Ruido de fondo

RUIDO DE FONDO	AULA PB.1	AULA PB.6	AULA P1.11	AULA P1.12	LAB TSC-5
MEDIA dB(A)	33,44	33,43	31,10	37,45	33,30
CTE= 40 dB(A)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Carrión=35 dB(A)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
BB93= 35 dB(A)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Tabla 20 Resumen de las mediciones del ruido de fondo

En el recinto P1.12 se ha registrado un ruido de fondo mayor que en el resto de las aulas, con unos 6 dB(A) por encima del registro más bajo (el de la PB1.11). Se puede suponer que es debido a su ubicación, en la esquina noreste del edificio. Pegada a esta fachada este se focaliza el acceso rodado al Campus de la Muralla del Mar en dos direcciones, como se ve en la Imagen 10.

Martínez (2015) evaluó acústicamente tres aulas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de la UPCT. El edificio en cuestión, el antiguo Hospital de Marina, también ha sido rehabilitado y está situado en el mismo recinto que el edificio objeto de estudio, el Campus de la Muralla del Mar. Cuando se comparan los resultados aquí obtenidos en el ruido de fondo con los de Martínez (2015), en aquel estudio se registró una media de entre 31,30 y 31,50 dB (A). Por tanto son valores similares a los obtenidos en este trabajo, teniendo en cuenta que las aulas de la ETSII-UPCT analizadas en dicho trabajo están situadas en una Planta sótano.

5.6.2 Tiempo de reverberación

Tr	AULA PB.1	AULA PB.6	AULA P1.11	AULA P1.12	LAB. TSC-5
MEDIA TOTAL (s)	4,22	3,66	3,21	4,18	3,82
CTE >0,5 s	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
BB93 >0,8s	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Carrión 0,7-1s	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Recuero 0,8-1,5s	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 21 Resumen de las mediciones del tiempo de reverberación

En general todos los Tr obtenidos mediante el método experimental están muy por encima de lo que dicta la normativa. Hay que tener en cuenta también que las mediciones se realizaron estando la sala vacía, quedando eliminado el factor absorbente del público.

El Tr obtenido ha sido mayor en las aulas de la Planta baja. Teniendo unas dimensiones muy similares (la PB1 y la P1.12 aulas de 3 crujías y la PB.6 y la P1.11 aulas de 2 crujías) se podría pensar que los materiales empleados en la rehabilitación de la Planta baja (mampostería para el techo, cartón yeso y mampostería para los paramentos verticales y tablero con acabado plástico para el suelo) contribuyen más a la reverberación que los utilizados para rehabilitar la Planta primera (hormigón para techo, suelo y cartón yeso y hormigón para la pared). Para comprobar esta hipótesis se ha efectuado el cálculo numérico aproximado del Tr de las aulas PB.6 y P1.11 utilizando la ecuación de Sabine (Ecuación 3):

$$Tr=0,161 V/(S*\alpha)$$

Ecuación 3 Ecuación de Sabine

siendo

V = Volumen de la sala.

S = Superficie total de la sala.

α = Coeficiente de absorción media.

El coeficiente de absorción de un material se define como la relación existente entre la energía que absorbe y la energía de las ondas sonoras que inciden sobre una unidad de superficie. Oscila entre 0 y 1, siendo 1 la máxima absorción y 0 la máxima reflexión, variando según cada frecuencia. A continuación se exponen los NRC (“Noise Reduction Coefficient” o Coeficiente de Reducción de Ruido) de cada material empleado, valor que expresa la cantidad de sonido que absorbe esa superficie. Es el resultado del promedio de los niveles de cada frecuencia [25].

- NCR del hormigón liso: 0,02
- NCR del hormigón visto: 0,03
- NCR de una pared de placa de yeso: 0,06
- NCR de un suelo con acabado de linóleo: 0,03
- NCR del ladrillo revocado: 0,03
- NCR de una butaca de madera: 0,03 [26]

Sabiendo los coeficientes de absorción medios, se puede aplicar la ecuación de Sabine y los resultados obtenidos son los siguientes:

AULA PB.6			
SUPERFICIE	S (m ²)	MATERIAL	NRC
Paredes	60,24	mampostería	0,03
Tabiques	122,02	yeso	0,06
Techo	107,17	mampostería	0,03
Suelo	107,17	linóleo	0,03
Mobiliario	46,36	madera	0,03
VOLUMEN (m³)		428,68	
SABINE	0,161*V	S*NRC	Tr (s)
	69,02	1,8072	4,44
		7,3212	
		3,2151	
		3,2151	
		1,3908	
		<u>15,5586</u>	

Tabla 22 Tiempo de reverberación del aula PB.6 hallado con la fórmula de Sabine

AULA P1.11			
SUPERFICIE	S (m ²)	MATERIAL	NRC
Paredes	39,76	hormigón visto	0,03
Tabiques	150,72	yeso	0,06
Techo	100,37	hormigón visto	0,03
Suelo	100,37	hormigón liso	0,02
Mobiliario	46,36	madera	0,03
VOLUMEN (m³)		401,48	
SABINE	0,161*V	S*NRC	Tr (s)
	64,64	1,1928	4,24
		9,0432	
		3,0111	
		2,0074	
		1,3908	
		<u>15,2545</u>	

Tabla 23 Tiempo de reverberación del aula P1.11 hallado con la fórmula de Sabine

Se observa que los Tr salen igualmente elevados, un poco más que durante el ensayo experimental. Esto se puede deber a la simplificación del cálculo del área del techo efectuada en el método numérico, donde no se ha tenido en cuenta la geometría abovedada.

El Tr ha resultado algo mayor en el aula PB.6 que en la P1.11, pero la diferencia obtenida es de apenas 0,2 s, que no se considera significativa. Por tanto, no se puede afirmar con seguridad que la mayor reverberación sea debida a los materiales empleados. Los utilizados en el aula PB.6 tienen coeficientes más altos y sin embargo el volumen es algo mayor.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Martínez (2015), se encuentran divergencias. Mientras que en la ETSII se obtuvieron Tr de entre 1,50 y 1,9 s, los resultados de este estudio duplican esos tiempos. Aunque aquellos sean igualmente elevados, debido a las grandes vigas colgantes de las correspondientes aulas, los espacios de la ETSIT resultan acústicamente menos adecuados. Se considera que esto es debido, de nuevo, a la geometría abovedada de sus techos, que provoca mayores reflexiones del sonido.

5.6.3 STI

STI	AULA PB.1	AULA PB.6	AULA P1.11	AULA P1.12
MEDIA	0,56	0,51	0,45	0,49
Carrión= 0,7	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
BB93= 0,6	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Valoración	Aceptable	Aceptable	Pobre	Pobre

Tabla 24 Resumen de las mediciones del STI

De los resultados obtenidos para el STI se deduce que el alumno de las aulas de la Planta baja deberá entender mejor el mensaje transmitido por el profesor que el alumno sentado en las aulas de la Planta primera, pese a que se hayan obtenido peores Tr. Además, en comparación, la palabra resultará más claramente audible en las aulas de mayores dimensiones (PB.1 y P1.12) que en las más pequeñas (PB.6 y P1.11).

Si este problema se hace extensible a todas las aulas de la ETSIT, destaca el hecho de que la Planta primera cuenta con 16 aulas frente a las 6 de la Planta baja.

Comparando los resultados obtenidos por Martínez (2015) para recintos de la ETSII, en el presente trabajo se han logrado valores similares de inteligibilidad, saliendo resultados en la ETSII de entre 0,45 y 0,56.

6. SOLUCIONES PROPUESTAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Después del análisis de los resultados obtenidos hecho en el apartado anterior se ha pretendido buscar y analizar algunas soluciones que permitan mejorar los aspectos acústicos deficitarios de las aulas y el laboratorio estudiados. Las mejoras pretenden disminuir el Tr que, como se ha comprobado, está muy por encima del recomendado, así como conseguir que la recepción de la palabra en esos recintos se efectuó con una mayor claridad.

Se puede conseguir un mejor acondicionamiento acústico de un recinto de dos maneras:

- o Reduciendo el volumen de la sala, ya que este factor resulta directamente proporcional al Tr según la Ecuación de Sabine (Ecuación 3)
- o Mejorando la absorción acústica de los materiales de revestimiento, porque este factor es inversamente proporcional al Tr (Ecuación 3)

La reducción de energía puede conseguirse de varias maneras: empleando materiales absorbentes acústicos y/o absorbentes selectivos (como los resonadores) en el revestimiento, aumentando las superficies susceptibles de entrar en vibración (como ventanas, puertas, paredes ligeras, etc.), empleando materiales de construcción menos rígidos, etc. Los materiales muy rígidos, incluso con porosidad nula, tienen una absorción acústica mínima. Por otra parte los materiales con mayor rugosidad tienen coeficientes de absorción acústica ligeramente más elevados [4]. Cuanto mayor sea el coeficiente de absorción acústica del material, menor será el Tr en la sala.

Los materiales absorbentes acústicos se utilizan para disminuir los Tr, eliminar el eco y reducir el nivel de campo reverberante en locales de mucho ruido. La morfología de estos materiales se basa en una serie de canales a través de los cuales la onda sonora puede penetrar, como se observa en la Imagen 35 [4].

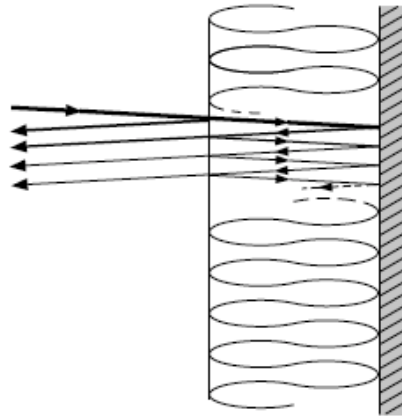


Imagen 35 Disipación de la energía de la onda en el interior de un material poroso sobre una pared rígida [4]

Este es el funcionamiento de los materiales porosos, como por ejemplo la lana de roca, lana de vidrio, espuma de poliuretano, etc. Cuanto mayor sea el espesor y la densidad del material mayor será la absorción. Estos materiales necesitan ser recubiertos para evitar que se deposite polvo y también procurar que no se dañen. Es recomendable recubrir el material absorbente con una superficie porosa que se pueda lavar fácilmente. Con este fin se pueden utilizar diversas soluciones tales como placas rígidas de mortero poroso, placas de virutas de madera, etc.

A la hora de acondicionar un espacio en primer lugar se debe planificar cuáles van a ser las superficies a tratar. La geometría abovedada del aula hace difícil intervenir en el techo de las aulas aquí estudiadas, así que se debe optar por intervenir en las superficies de los tabiques, que son de cartón yeso.

Buscando soluciones comerciales para resolver los problemas identificados, se ha decidido proponer la mejora de las particiones reemplazando las placas de yeso convencionales por placas de yeso acústicas perforadas. Se ha optado por la solución de unas placas de yeso con zeolita (agente depurador del aire) provistas de perforaciones de varios tamaños, denominada “Kanuf Cleaneo” [27]. El modelo seleccionado cuenta con perforaciones redondas en el 9,90 % de la placa, con tres diámetros distintos y de distribución aleatoria por toda la superficie (Imagen 36). Además, este tipo de placa dispone de un velo microperforado blanco acústico en su cara posterior. En el Anexo se incluye su ficha técnica. Se trata de una solución normalmente aplicada a falsos techos, pero que se considera que podría aplicarse a paramentos verticales.

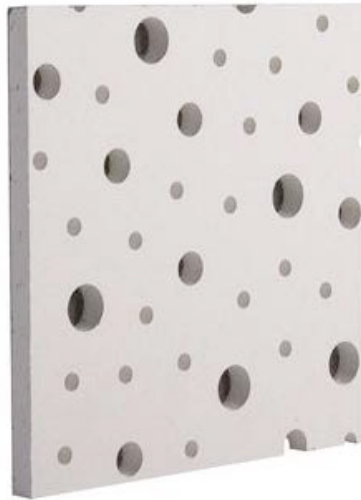


Imagen 36 Placa de yeso perforada “Knauf Cleaneo” con perforaciones redondas aleatorias [27]

El sistema constructivo propuesto para mejorar las particiones está formado por una estructura metálica con dos placas de yeso laminadas atornilladas, quedando la placa perforada en la cara exterior. Entre ambas caras del tabique se colocará lana de roca para asegurar el acondicionamiento total. Existen dos tipos de colocación, bien en las particiones entre aulas (Imagen 37) o bien en placas de yeso trasdosadas al muro existente (Imagen 38).

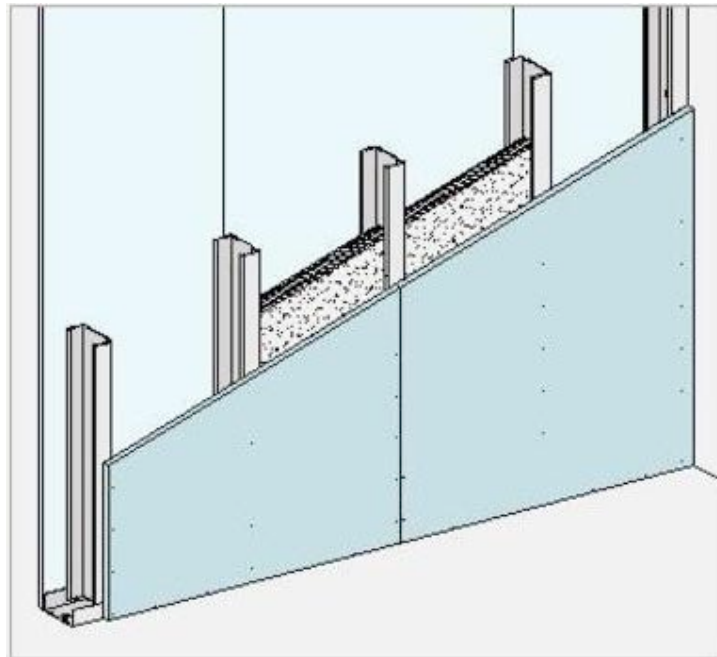


Imagen 37 Sistema constructivo de la partición [27]

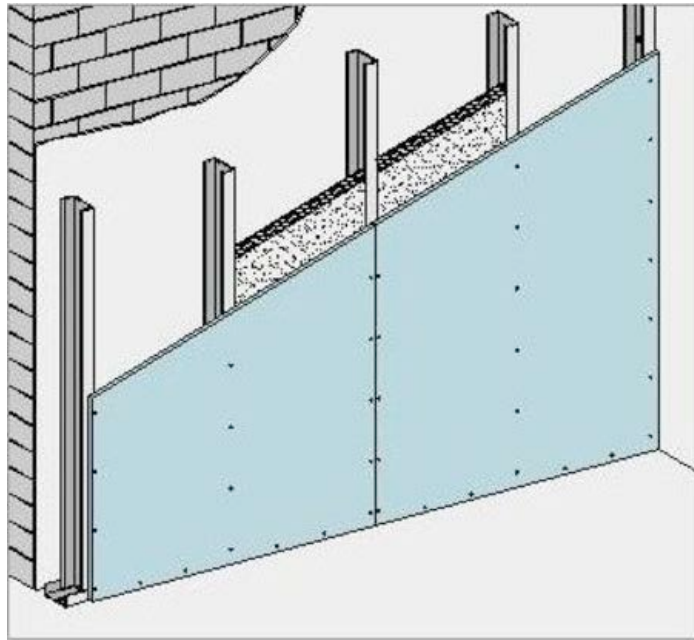


Imagen 38 Sistema constructivo de trasdosado [27]

La disposición de estas placas perforadas supondría una mejora considerable del coeficiente de absorción de la tabiquería, ya que el NCR del material asciende a 0,58 según la empresa suministradora (Imagen 38).

TIPO DE PLACA	% PERF.	PLENUM	α_s FRECUENCIAS (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
Aleatoria Redonda 8/15/20	9,90%	LM 60 - 200 mm	0,54	0,70	0,61	0,53	0,48	0,49
		Sin LM - 200 mm	0,26	0,53	0,57	0,51	0,43	0,44
		LM 70 - 300 mm	0,53	0,67	0,67	0,65	0,49	0,49

Imagen 39 Coeficiente de absorción de las placas "Knauf Cleaneo" [27]

Con la ejecución de estas mejoras propuestas se obtendrían, teóricamente, unos resultados analíticos de Tr adecuados para el uso docente. Se aportan como ejemplos los resultados obtenidos para las aulas PB.6 y P1.11 (Tablas 25 y 26).

AULA PB.6			
SUPERFICIE	S (m ²)	MATERIAL	NRC
Paredes	60,24	mampostería	0,03
Tabiques	122,02	panel perforado acústico	0,58
Techo	107,17	mampostería	0,03
Suelo	107,17	linóleo	0,03
Mobiliario	46,36	madera	0,03
VOLUMEN (m³)		428,68	
SABINE	0,161*V	S*NRC	Tr (s)
	69,02	1,80	0,87
		71,25	
		3,21	ANTES
		3,21	4,44
		1,39	
		<hr/> 99,75	

Tabla 25 Tiempo de reverberación del aula PB.6 con mejoras de absorción acústica

AULA P1.11			
SUPERFICIE	S (m ²)	MATERIAL	NRC
Paredes	39,76	hormigón visto	0,03
Tabiques	150,72	panel perforado acústico	0,58
Techo	100,37	hormigón visto	0,03
Suelo	100,37	hormigón liso	0,02
Mobiliario	46,36	madera	0,03
VOLUMEN (m³)		401,48	
SABINE	0,161*V	S*NRC	Tr (s)
	64,64	1,19	0,69
		88,02	
		3,01	ANTES
		2,01	4,24
		1,39	
		<hr/> 94,23	

Tabla 26 Tiempo de reverberación del aula P1.11 con mejoras de absorción acústica

En dichas tablas se puede observar que la solución propuesta de los paneles perforados contribuiría significativamente a reducir el Tr. En efecto se reduce, en caso de la PB.6 de 4,44 s a 0,87 s y en la P1.11 de 4,24 s a 0,69 s, cumpliendo ahora con las exigencias de la Tabla 5 para aulas.

Esta solución se puede hacer extensible a los cinco recintos estudiados, pues todos ellos cuentan con paredes de cartón yeso susceptibles de ser intervenidas.

Para analizar desde el punto de vista económico esta mejora se ha procedido a elaborar el presupuesto correspondiente (Tabla 27). Para ello se ha tenido en cuenta el precio obtenido por el generador de precios de CYPE a 45,60 euros el m², donde se incluye tanto el material como la instalación y el mantenimiento de particiones de yeso Knauf [28].

PRESUPUESTO		
AULA	SUPERFICIE (m ²)	PRECIO (€)
PB.1	133,61	6092,62
PB.6	122,02	909,05
P1.11	150,72	1122,86
P1.12	151,85	1131,28
LAB TSC-5	155,76	1160,41
		<u>10416,22</u>

Tabla 27 Presupuesto de la intervención

Otra medida que podría adoptarse sería reducir el volumen de las salas y así disminuir el Tr. Ello se podría conseguir colocando paneles móviles en las aulas, sobre todo en las de mayor tamaño. De esta manera cuando la sala no fuera utilizada al completo podría cerrarse en parte para intentar obtener una acústica mejor. Por su parte el laboratorio TSC-5 podría ser compartimentado con paneles móviles, de manera que cuando no se llenará el espacio de trabajo, se pudiera hacer sectores y conseguir una mejor acústica. Sin embargo esta opción se considera menos útil en la práctica porque, además de su coste, exige de un personal de mantenimiento.

6. CONCLUSIONES

Se ha efectuado un estudio bibliográfico, a través del cual se han examinado los parámetros que mejor definen la acústica de un recinto: el ruido de fondo que proviene del exterior del aula; el Tr que hace referencia al tiempo que tarda en extinguirse un sonido en el interior del aula; y la inteligibilidad y claridad de la palabra y recepción del mensaje.

La determinación del nivel de ruido de fondo en los recintos seleccionados de la ETSIT-UPCT, constituidos por dos aulas en la Planta baja, dos aulas en la Planta primera y un laboratorio de investigación en la Planta sótano, muestra que cumple con la normativa del CTE. En consecuencia, dichos recintos se encuentran bien aislados acústicamente del exterior.

En relación con el valor del Tr, se han determinado valores en los recintos estudiados muy por encima de los estándares óptimos establecidos para aulas, constituyendo el parámetro acústico más desfavorable.

La inteligibilidad de la palabra, parámetro acústico más relevante en los recintos dedicados a la transmisión del mensaje oral, ha alcanzado unos valores que están considerados en las recomendaciones de Carrión (1998) como “aceptable” en la Planta baja y “pobre” en la Planta primera. En los recintos como los estudiados, cuya función principal es la de emitir y recibir sonidos, esta valoración resulta insuficiente.

El problema fundamental del edificio de la ETSIT-UPCT desde el punto de vista acústico, es que se trata de una rehabilitación del antiguo Cuartel de Antiguones, y ésta no se ha efectuado al respecto de forma correcta. Tratándose de un espacio de ámbito educacional, se tendría que haber puesto más atención a la acústica de sus aulas y laboratorios docentes y de investigación. El sistema constructivo del edificio basado en crujeas abovedadas que alcanzan una altura considerable, no es el más idóneo para la transmisión de la palabra hablada. Sin duda habrá influido en ello los condicionantes del valor histórico del edificio militar rehabilitado.

En este Trabajo, se ha comprobado que es posible implementar algunas medidas correctoras que mejoren la calidad acústica de los ambientes interiores de la ETSIT-UPCT. En particular, con la intervención en los tabiques y la compartimentación ocasional de las aulas y laboratorios, podría ver mejorada significativamente su absorción acústica.

Tras analizar los datos experimentales, se puede afirmar que los espacios de la ETSIT-UPCT estudiados son demasiado reverberantes, lo que conlleva una inadecuada claridad de la recepción del discurso oral. En consecuencia, para alcanzar la calidad acústica interior necesaria para la función docente del edificio sería muy recomendable la intervención constructiva antes citada en las aulas y laboratorios. Así, al satisfacer las necesidades acústicas, se procuraría un mayor bienestar de alumnos y profesores.

Se ha procedido a elaborar el presupuesto correspondiente a las mejoras propuestas, obteniéndose que el importe total de las cuatro aulas y el laboratorio analizados asciende a 10.416,22 euros. En consecuencia se considera una cuantía aceptable para resolver los inconvenientes detectados, al menos en las aulas a las que se les debería dar prioridad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Uniovi. Propiedades acústicas. www.uniovi.es/usr/fblanco/Temall.2.4.ACUSTICAS.B. Acceso Septiembre 2017.
- [2] L.J. Lortie. Acoustical environment for academic buildings. 5: 16-31.1967.
- [3] E. Tristán, I. Pavón, J.M. López. Evaluation of acoustic quality in university facilities. Proc. Int. Conf. Noise Vib. Eng.1249–1261. 2012.
- [4] A. Carrión. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Ed. Universidad Politécnica de Cataluña.1998.
- [5] C.A. González. Acondicionamiento acústico de las salas de clases del colegio Emprender Osorno. Tesis de Grado. Licenciatura en Acústica. Universidad Austral de Chile. 2010. cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcig643a/doc/bmfcig643a.pdf. Acceso Septiembre 2017
- [6] M.J. Singer, Acoustics in schools, Ceil. Inter. Syst. Constr. Assoc., 1–22, 2003.
- [7] T. Mihai, V. Iordache, Determining the indoor environment quality for an educational building, Energy Procedia, 85, 566–574.
- [8] A. Faggiani. Estudio acústico en el Aula 1 (Tribunal). Edificio nuevo de E.T.S.I.E.. Proyecto Fin de Grado en Ingeniería de Edificación. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2012.
- [9] BOE 254, de 23 de octubre de 2007. Anexo 4. Métodos y procedimientos de evaluación para los índices acústicos. 42966-42972.
- [10] E. Castro. Protocolo de evaluación de la calidad acústica de una sala. Apuntes de la Asignatura Acústica y Vibraciones Arquitectónicas. Máster de Ciencia y Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena. Policopiado. 2017.
- [11] A. Martínez. Evaluación y propuestas de mejora de la calidad acústica de salas problemáticas de la Universidad Politécnica de Cartagena. Trabajo Fin de Máster de Ciencia y Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena. 2015.
- [12] Código Técnico de la Edificación. CTE-HR- Protección frente al ruido, Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

www.codigotecnico.org/index.php/menu-proteccion-frente-ruido.html. Acceso Septiembre 2017.

- [13] M. Recuero. *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Ediciones Paraninfo. 1999.
- [14] US Department of Education, *Acoustic design of school - Performance standards for schools*. *Build. Bull.* 93: 1–24, 2015.
- [15] A. Sánchez. *Medida de características acústicas de la sala 3 de Kinépolis de Madrid*. Grado en Ingeniería de sonido e imagen. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y sistemas de telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. 2014.
- [16] Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, *UNE-EN ISO 3382: Medición del tiempo de reverberación de recintos Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*. p. 24. 2008.
- [17] L.E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppins, J. V. Sanders. *Fundamentals of acoustics*. Wiley Editions. 2000.
- [18] L. Marshall. *Acoustic measurements and noise metrics*. En: *Architectural Acoustics*. Chapter 4. 2005.
- [19] R.D. 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Ministerio de la Presidencia, BOE 254, 42952–42973, 2007.
- [20] L.M. Pérez. *El Cuartel de Antiguones*. www.laverdad.es/murcia/cartagena/201411/29/cuartel-antiguones-20141129005122-v.html. Acceso Septiembre 2017.
- [21] J. Conesa, J. Pastor. *Rehabilitación virtual del Hospital de Marina, actual Universidad Politécnica de Cartagena*. Congreso Internacional Herramientas y métodos en diseño de Ingeniería. Italia, 2003.
- [22] J. López, *Antigones*. *Apuntes para la historia de un cuartel*, *Espac. Teleco*, 2: 153–168. 2011.
- [23] M. Lejarraga. *Rehabilitación del Cuartel de Antigones de la Universidad Politécnica de Cartagena -UPCT-*. Biblioteca General. www.lejarraga.com/?portfolio=rehabilitacion-del-cuartel-de-antigones-universidad-politecnica-de-cartatena-upct-biblioteca-general. Acceso Septiembre 2017.
- [24] Velleman. *Catalog*. www.velleman.eu/products/view/?country=es&lang=es&id=377616. Acceso Septiembre 2017.

- [25] Terminología Acústica. [www.plaforamaconstruye.com/2012/06/terminologia -acustica-que-es-nrc/](http://www.plaforamaconstruye.com/2012/06/terminologia-acustica-que-es-nrc/). Acceso Septiembre 2017.
- [26] Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Tablas de absorción acústica. Versión revisada 2010. Universidad de la República Oriental del Uruguay. www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/.../Tablas-de-Absorcion.pdf. Acceso Septiembre 2017.
- [27] Nnauf. Catálogo. www.knauf.es. Acceso Septiembre 2017.
- [28] Knauf. Precio en España de m² de Falso techo continuo de placas de yeso laminado. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A. knauf.generadordeprecios.info/obra_nueva/Revestimientos/Falsos_techos/RTC_Continuos__de_placas_de_yeso_l/RTC016_Falso_techo_continuo_de_placas_de_y_0_0_0_0_1_0_0_0_0_0_0_1_1_0_0.html. Acceso Septiembre 2017.

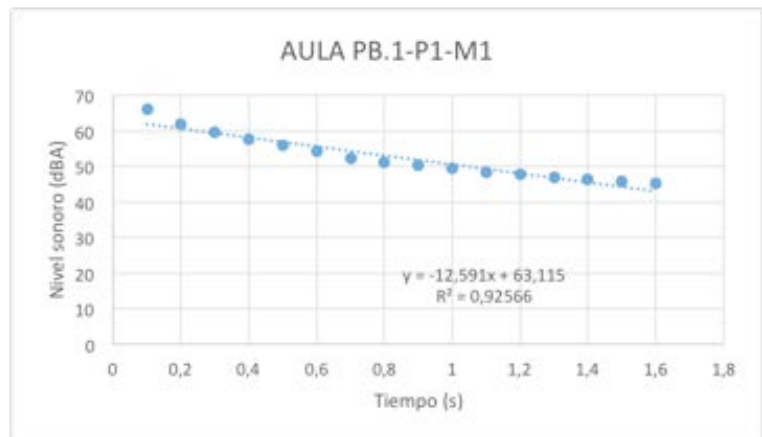
ANEXOS-PLANOS

Ejemplo de cálculo del tiempo de reverberación

CALCULO DE LA
PENDIENTE

T_{20}

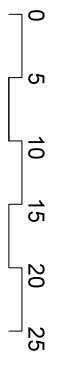
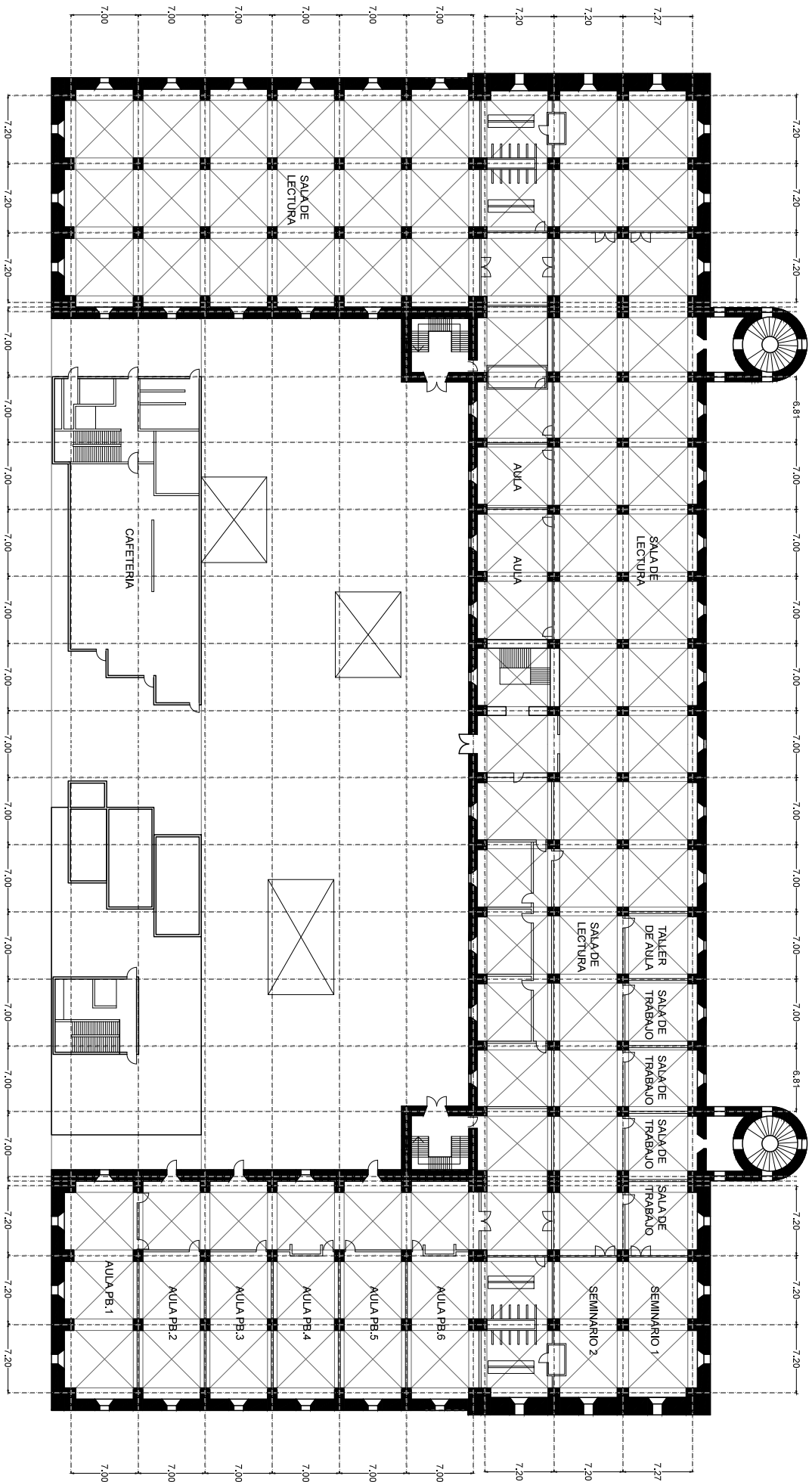
x (segundos)	y (dB)
0,1	66,1
0,2	61,8
0,3	59,6
0,4	57,5
0,5	55,8
0,6	54,2
0,7	52,3
0,8	51,2
0,9	50,2
1	49,3
1,1	48,4
1,2	47,8
1,3	47
1,4	46,4
1,5	45,8
1,6	45,2



CALCULO DEL
 T_{20}

Pendiente = 12,59 s

$T = 60\text{dB(A)} / \text{pendiente} = 4,77 \text{ s}$

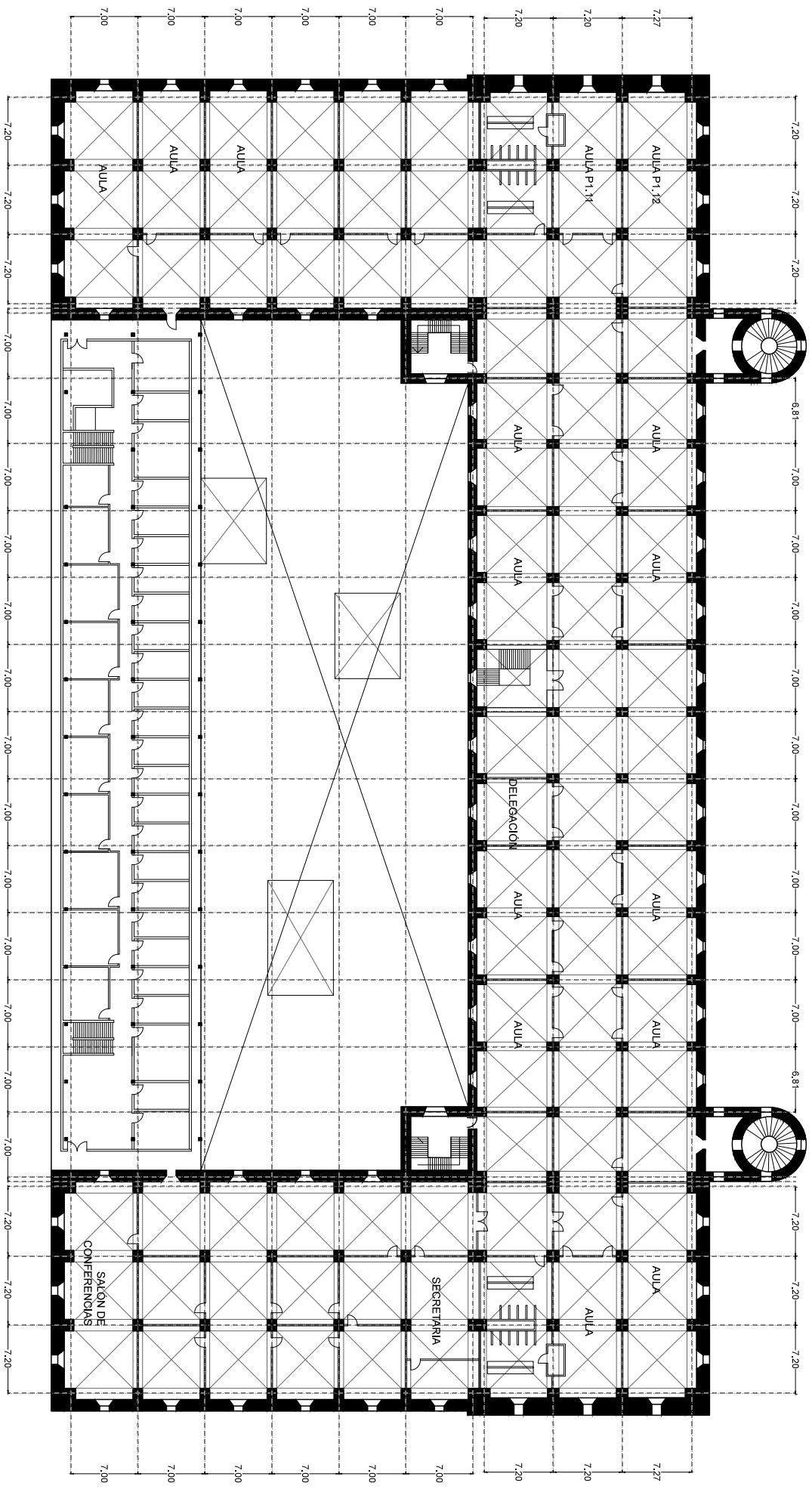


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
 Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación

TRABAJO FINAL DE MASTER Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT

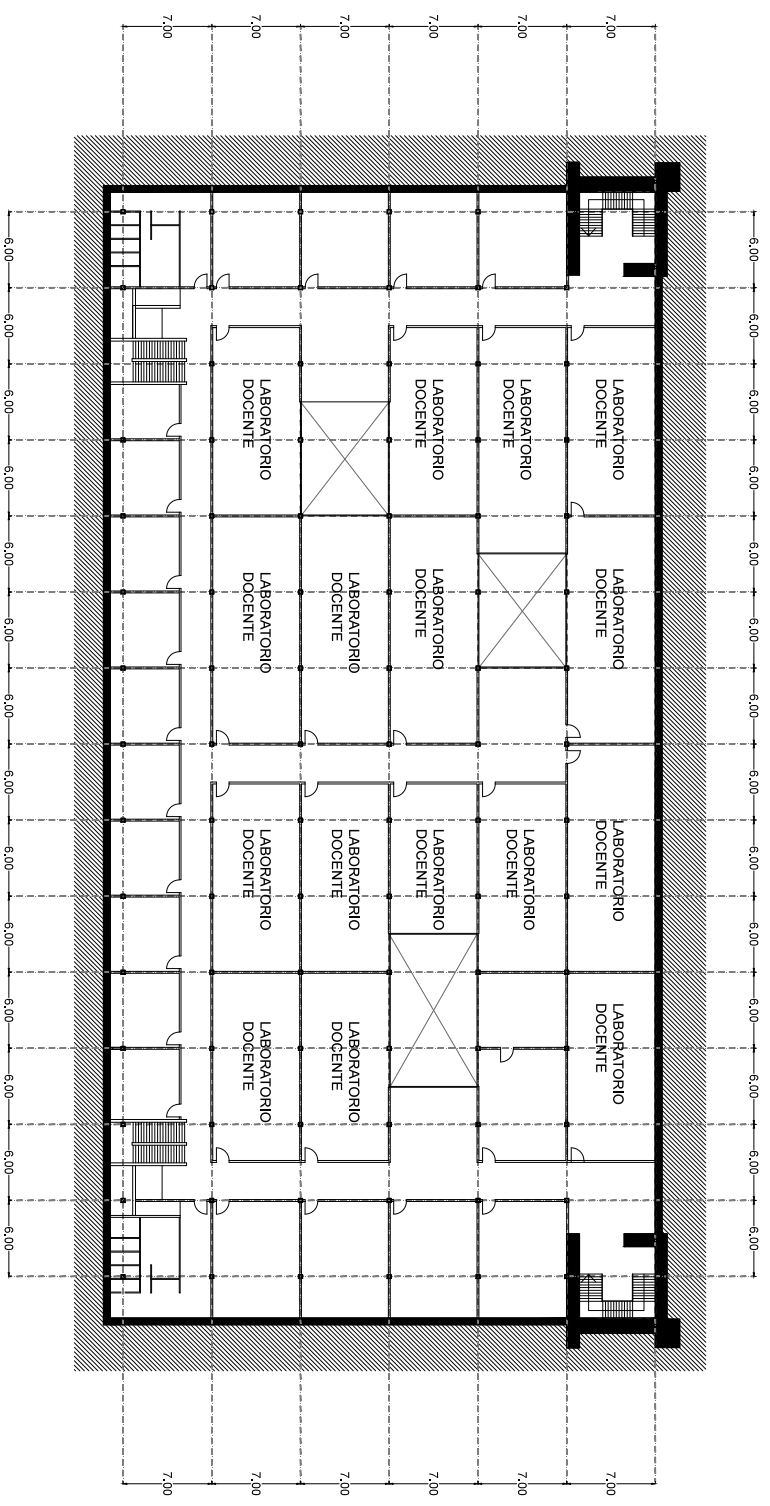
TITULOS:	PLANO	PLANTA BAJA
AUTORA:	ESCALA	NÚMERO DE PLANO 3
Enrique Galán Rodríguez	1/400	
Javier Flor Acea		
Victoria Arés Hernández		






UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
 Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación

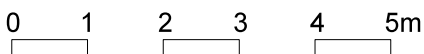
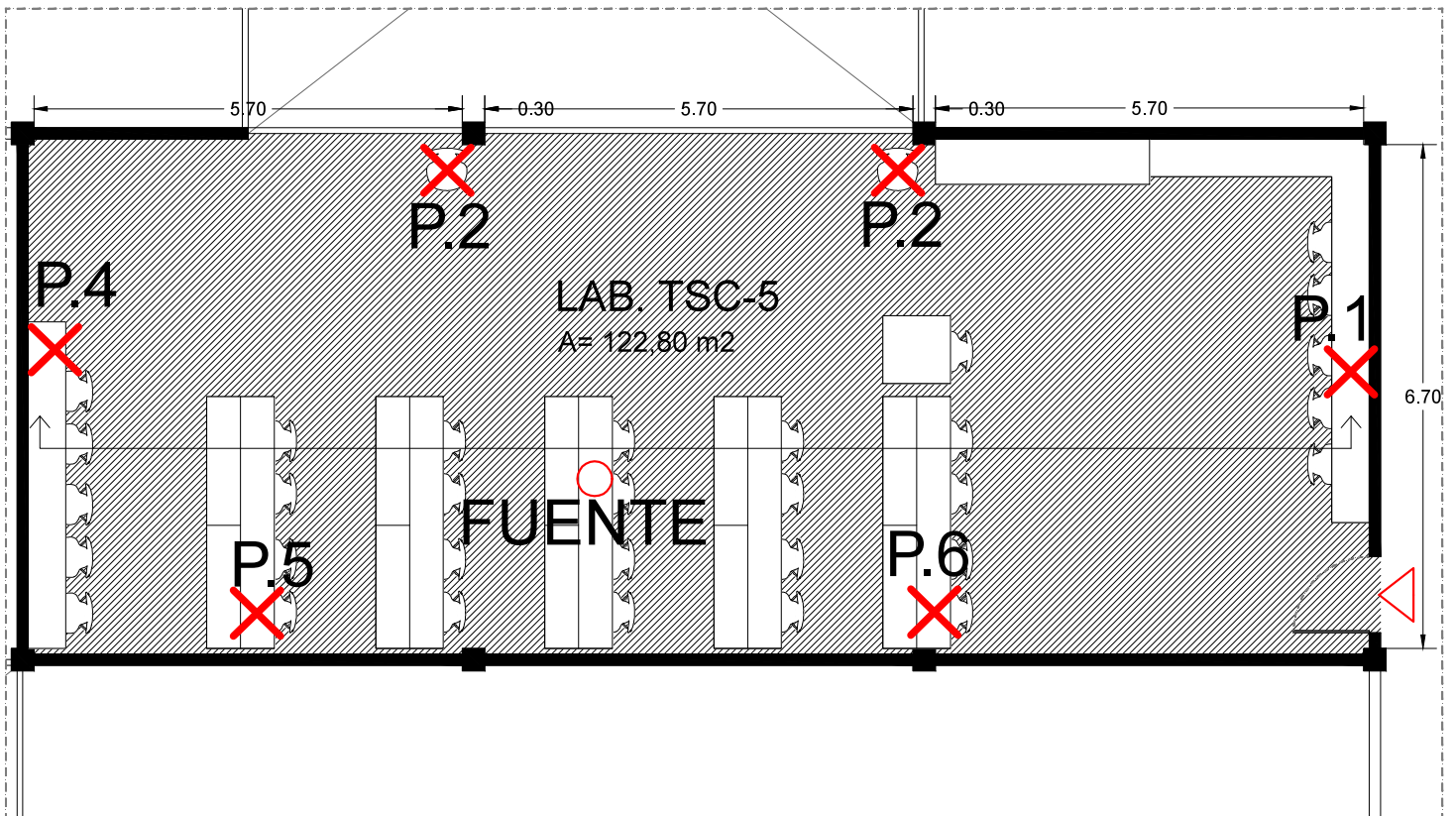
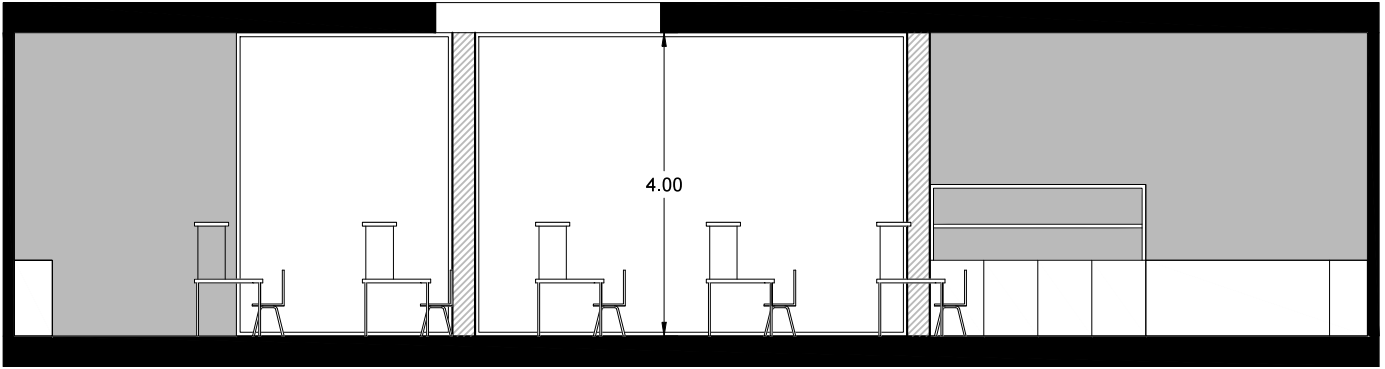
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT
TUTORES Enrique Casero Rodríguez	PLANO
AUTORA Victoria Méndez Hernández	ESCALA 1/400
	NÚMERO DE PLANO 3



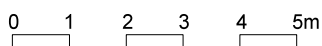
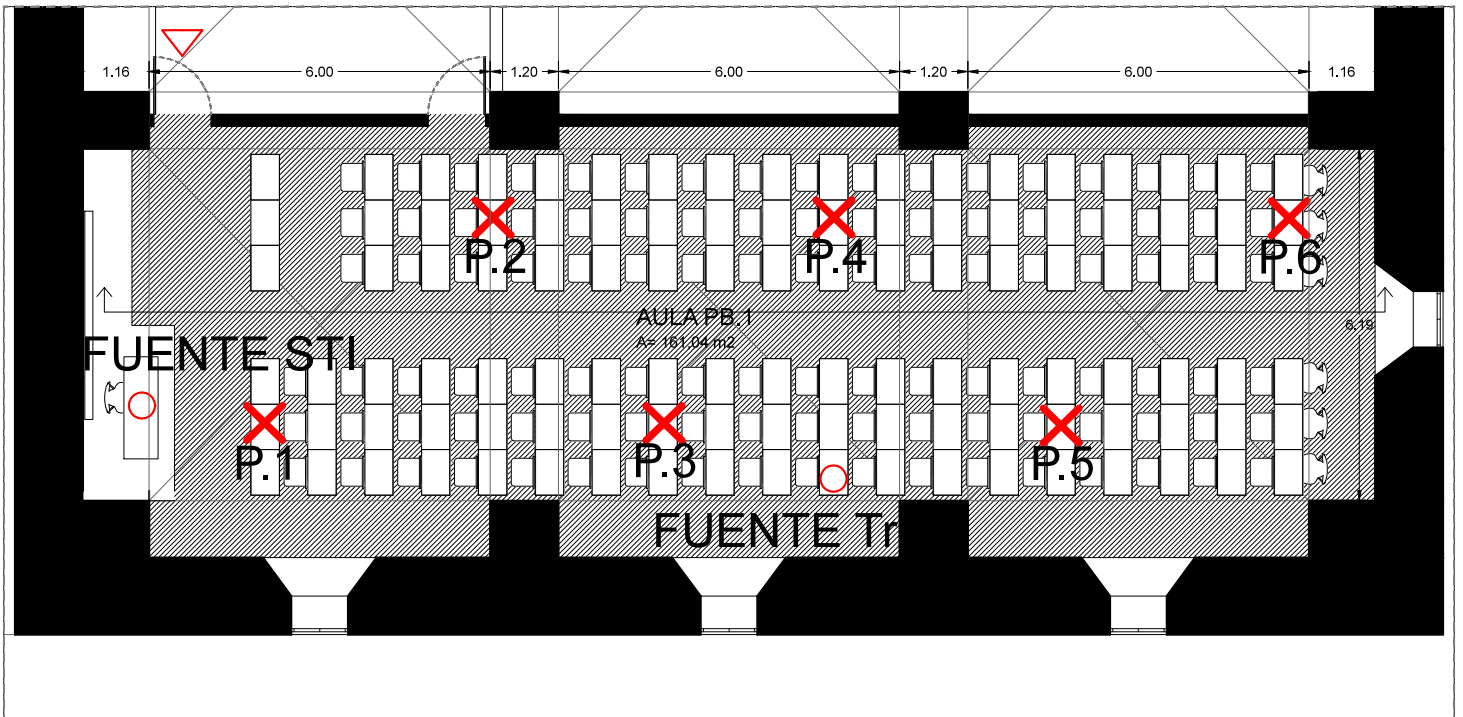
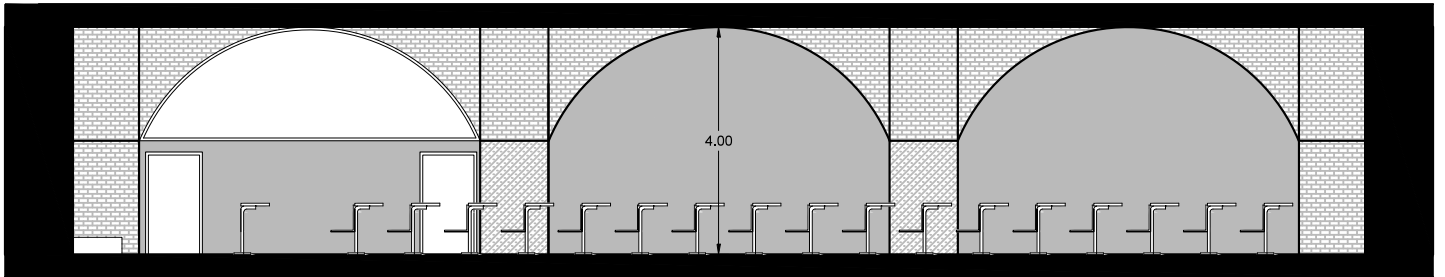
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
 Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación



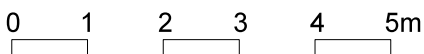
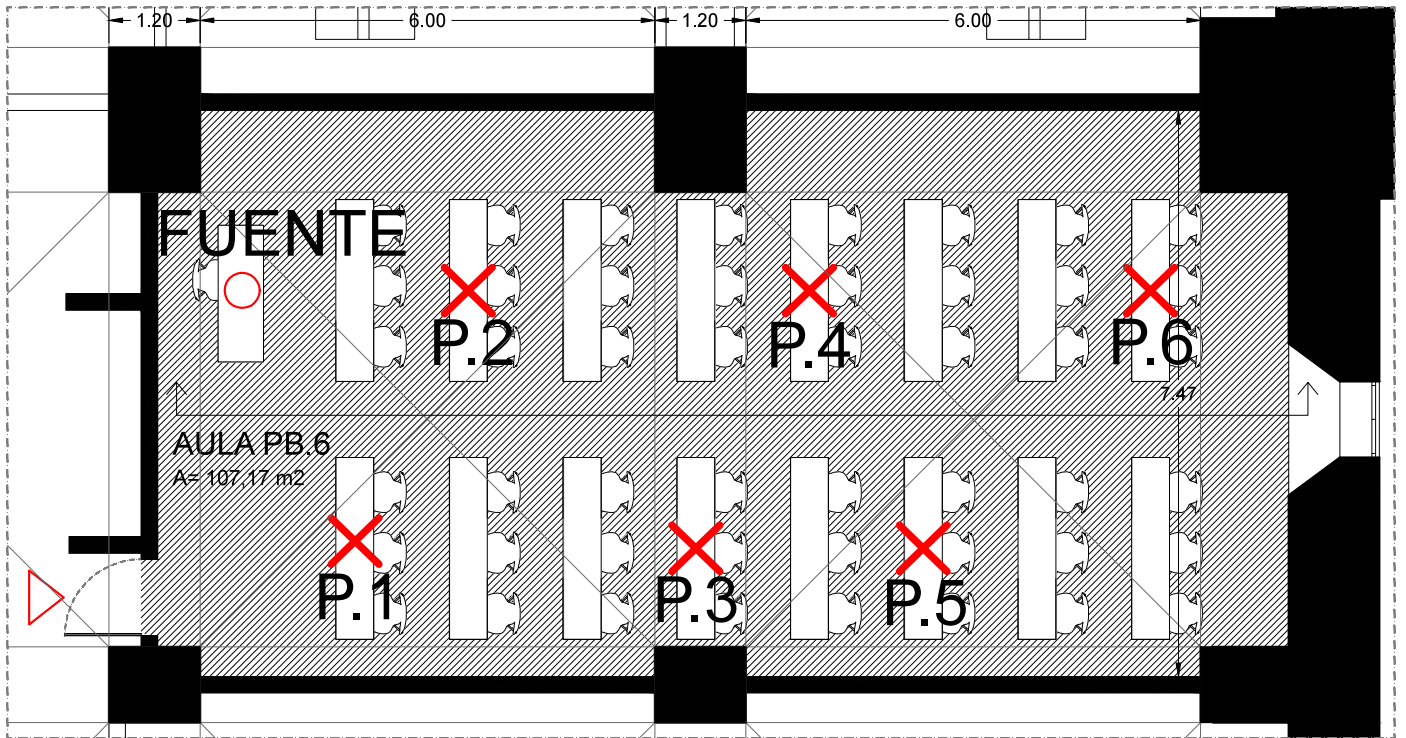
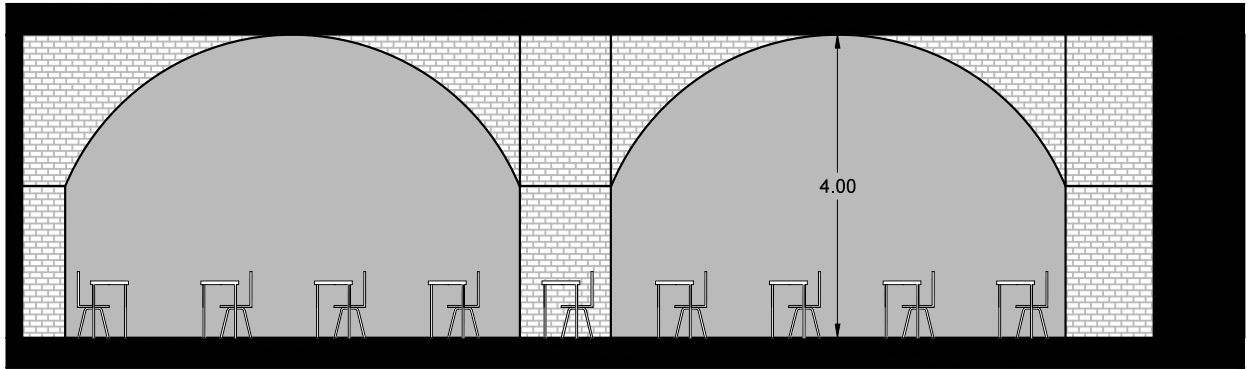
TRABAJO FINAL DE MASTER		Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Antonio Rodríguez Javier Pizarro		PLANO	
AUTORA Victoria Añes Hernández		SOTIANO	
		ESCALA 1:400	
		NÚMERO DE PLANO: 3	



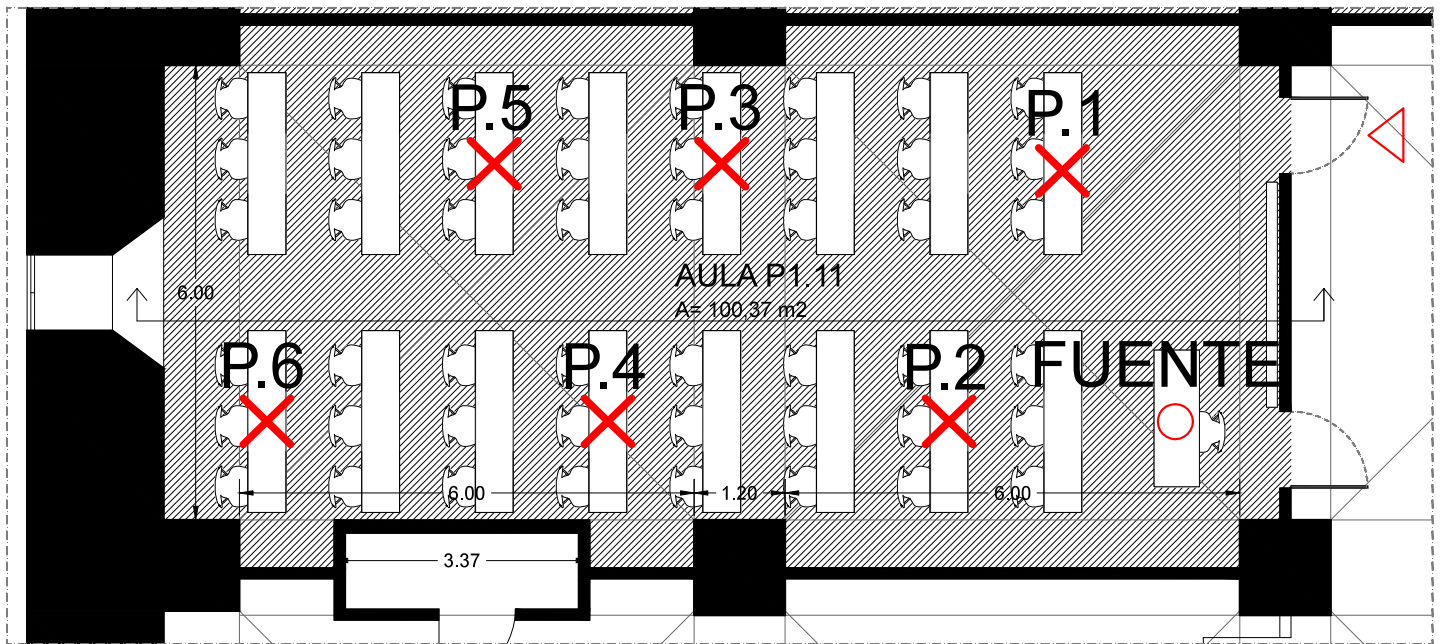
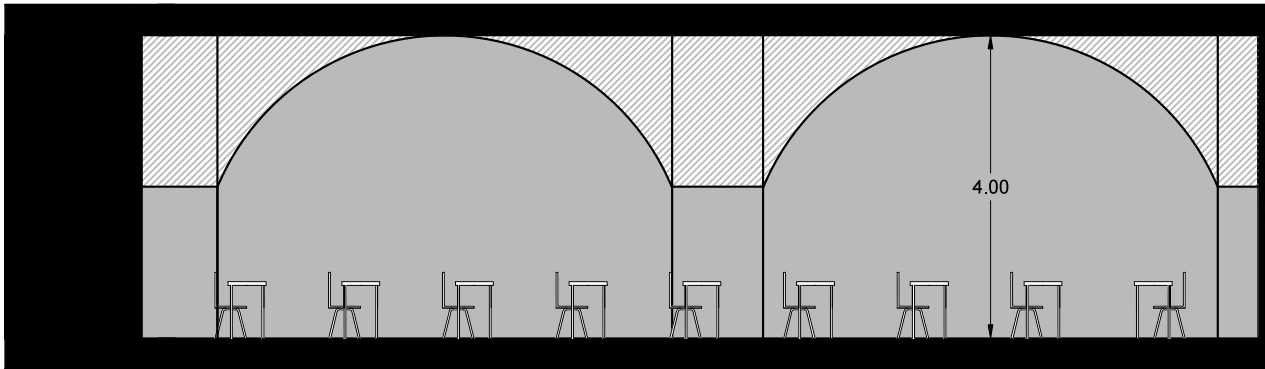
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación		
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Enrique Castro Rodríguez Javier Prior Arce	PLANO PLANTA SÓTANO- LABORATORIO TSC-5	
AUTORA Victoria Artés Hernández	ESCALA 1/100	NUMERO DE PLANO: 4



 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación		
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Enrique Castro Rodríguez Javier Prior Arce	PLANO	PLANTA BAJA- AULA PB. 1
AUTORA Victoria Artés Hernández	ESCALA 1/125	NUMERO DE PLANO: 5

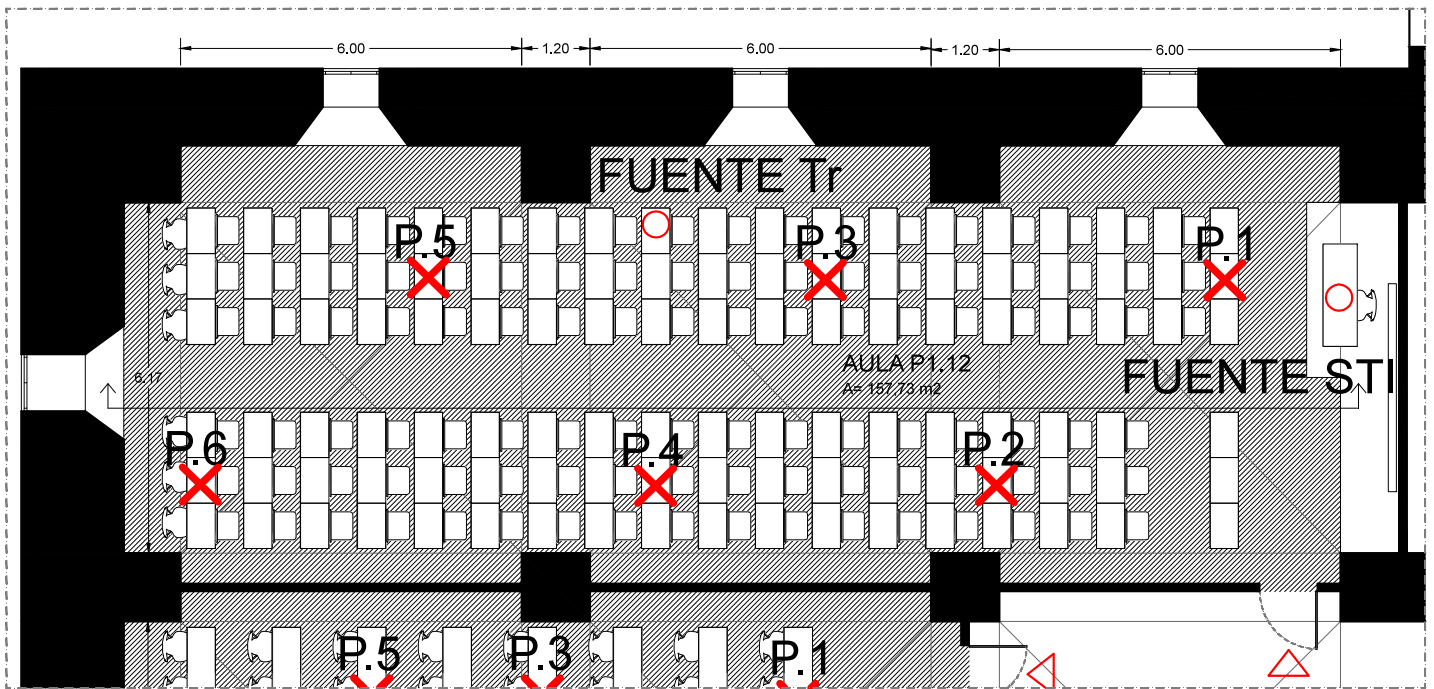
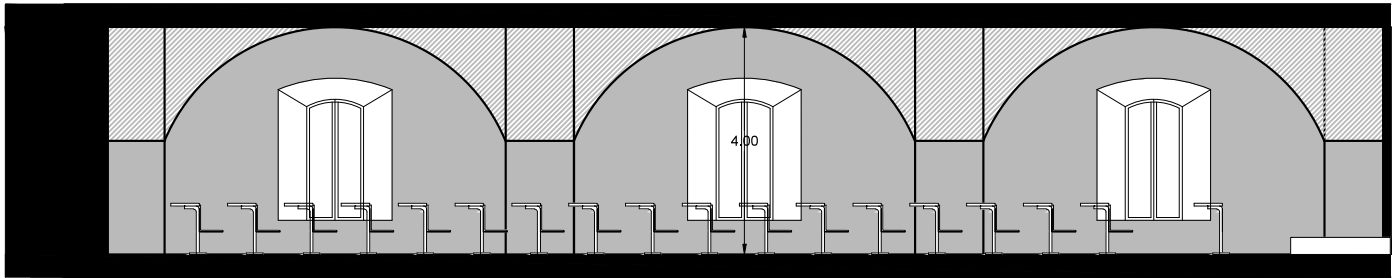


 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación		
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Enrique Castro Rodríguez Javier Prior Arce	PLANO	PLANTA BAJA- AULA PB.6
AUTORA Victoria Artés Hernández	ESCALA 1/100	NUMERO DE PLANO: 6





0 1 2 3 4 5m

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación		
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Enrique Castro Rodríguez Javier Prior Arce	PLANO	PLANTA PRIMERA- AULA P1.11
AUTORA Victoria Artés Hernández	ESCALA 1/100	NUMERO DE PLANO:7

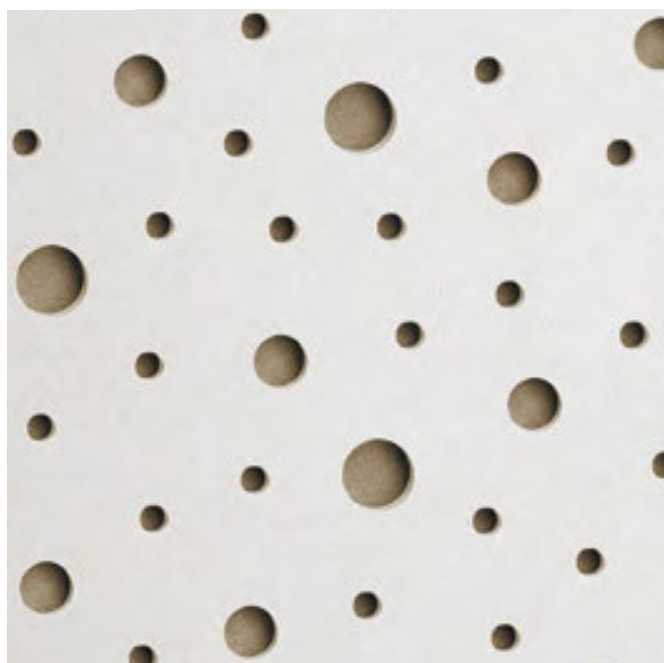


0 1 2 3 4 5m

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Master de Ciencia y Tecnología de la Edificación		
TRABAJO FINAL DE MASTER	Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT	
TUTORES Enrique Castro Rodríguez Javier Prior Arce	PLANO	PLANTA PRIMERA- AULA P1.12
AUTORA Victoria Artés Hernández	ESCALA 1/125	NUMERO DE PLANO: 8



CLEANEO AKUSTIK ALEATORIA PLUS REDONDA



DISEÑO



REACCIÓN
AL FUEGO
A2-S1, D0



CONFORT
ACÚSTICO

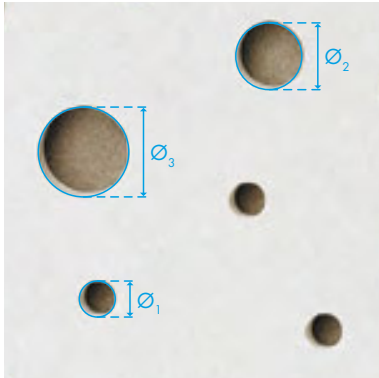


CALIDAD
DEL AIRE
INTERIOR



CONFORT
HIGRO-
TÉRMICO

PERFORACIONES



DESCRIPCIÓN	PERFORACIÓN ($\varnothing_1/\varnothing_2/\varnothing_3$)	% PERFORACION	α_w **	α_m **
Velo Blanco*	8/15/20	9,9	0,50 (L)	0,50
	12/20/35	9,8	0,45 (L)	0,47

* Velo negro bajo pedido

** α_w y α_m para techo suspendido 200mm sin lana mineral. Más datos acústicos página 58

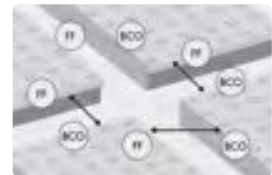
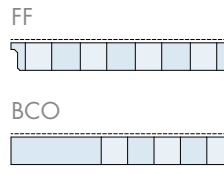
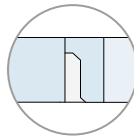
BORDES

Según perforación

BORDE FF + BCO

8/15/20

12/20/35



	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	BORDE FF
Cleaveo Akustik Aleatoria Plus Redonda	8/15/20 R	1.200x1.875 mm	✓
	12/20/35 R	1.200x1.875 mm	✓