

# EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y COMPORTAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO Y DE IMPACTO DE LOS FORJADOS DE EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE MADRID.

(<sup>1</sup>) Caballol Bartolomé, D. \* ; (<sup>2</sup>) Díaz Sanchidrián, C. ; (<sup>3</sup>) Rodríguez Sánchez, A.

(<sup>1,3</sup>) Universidad Politécnica de Madrid - EUATM. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control. Avda. Juan de Herrera 6. 28040 Madrid, España; (<sup>2</sup>) Universidad Politécnica de Madrid – ETSAM. Laboratorio de Acústica y Vibraciones Aplicadas a la Edificación, al Medio Ambiente y al Urbanismo, Avda. Juan de Herrera 4. 28040. Madrid, España

## RESUMEN

Es conocida la existencia de numerosos trabajos que analizan el aislamiento acústico de recintos superpuestos, relacionando de distintos modos los resultados obtenidos con la composición y disposición de los elementos constructivos que componen ambos recintos.

Sin embargo, en el caso de grandes recintos de los años 30 a 50 del pasado siglo, realizados con hormigón no es posible encontrar un estudio que aborde el problema y que además lo haga teniendo en cuenta tres puntos de vista diferentes a un tiempo, el histórico, el constructivo y el acústico.

El estudio que estamos realizando aborda el problema desde los tres puntos de vista, realizando ensayos in situ, acústicos y de impacto, en recintos de superficie mayor de 100 metros cuadrados a lo largo de la historia de la Ciudad Universitaria de Madrid.

Los resultados acústicos se relacionan con la disposición y composición de los elementos constructivos teniendo en cuenta la época en la que se construyeron, para así poder ir obteniendo conclusiones.

## 1.- Introducción.

La Ciudad Universitaria de Madrid es actualmente un área situada en el noroeste de la ciudad, donde se ubican la mayor parte de las facultades y escuelas superiores de la Universidad Complutense de Madrid y de la Universidad Politécnica de Madrid, así como más de una treintena de Colegios Mayores e Instalaciones de la Universidad Nacional de Educación a Distancia. En esta área universitaria existen, además de las facultades y rectorados, numerosas residencias de estudiantes, colegios mayores, tres polideportivos, un jardín botánico y extensas zonas verdes.

Existe y ha existido por la Ciudad Universitaria de Madrid un interés histórico, urbanístico..... Ideológico (lo que la idea primigenia quiso crear y lo que la guerra y las circunstancias posteriores finalmente hicieron de ella), pero no un interés nítidamente constructivo.

Es sencillo encontrar trabajos que analizan la Ciudad Universitaria de Madrid desde un punto de vista histórico<sup>[1]</sup> (destacando la tragedia que supuso para la misma su largo periodo de inclusión en el frente de la guerra civil), o desde un punto de vista Urbanístico y o Arquitectónico<sup>[2]</sup>, pero que no aborda o lo hace tangencialmente el estudio de sus sistemas constructivos<sup>[3]</sup>, ni de su estado actual tras sucesivas reformas.

El ruido aéreo consiste en la generación de una perturbación (ondas de presión y extensión) en los volúmenes de aire que rodean a una fuente sonora. Cuando las ondas acústicas generadas por la fuente de ruido inciden sobre un elemento o

sistema constructivo separador de dos recintos, este responde a la fuerza de excitación entrando en una vibración forzada y convirtiéndose en un nuevo (más débil) foco sonoro. Este foco sonoro secundario, modificará a su vez el estado de reposo de la capa de aire inmediatamente próxima en el recinto contiguo, transmitiéndose el ruido a dicho local.

El ruido aéreo es así denominado por tanto por ser generado en el aire, diferenciándose del ruido estructural que es aquel generado en un medio sólido.

El proceso de vibración forzada descrito anteriormente se puede transmitir también a los elementos adyacentes y de este modo, nuevas vibraciones secundarias ponen en movimiento las partículas de aire contiguas a ellos. Es un tipo específico de ruido estructural, la transmisión por flancos.

Las vibraciones inducidas por las instalaciones o maquinarias vibrantes son otra causa de ruidos estructurales, y los impactos también.

El ruido de impacto, es por lo tanto un caso particular de ruido estructural. Consiste en la generación de una perturbación (ondas de presión y extensión) a causa de un golpe producido en un elemento o sistema constructivo. El golpe, provoca que el elemento vibre y se convierta en un foco sonoro. Por lo tanto, el ruido de impacto también se distingue del aéreo por la naturaleza impulsiva de la excitación que lo provoca.

Debido a la alta rigidez de la mayoría de los elementos constructivos, la excitación inicial inducida por el impacto se transmite rápidamente y con elevada intensidad por la estructura del edificio (forjados, pilares, muros y tabiques). De este modo nuevas vibraciones secundarias ponen en movimiento las partículas de aire contiguas a ellos, apareciendo ruido en otras dependencias de la edificación.

El presente estudio propone el análisis de ambos (ruido aéreo y de impacto) en elementos de separación horizontal de recintos de un cierto volumen (aulas grandes) dentro del ámbito universitario anteriormente descrito.

El conocimiento constructivo en esta área es aun limitado y tradicionalmente el aislamiento acústico de los forjados ha despertado escaso interés entre los profesionales de la construcción, en la creencia de que un forjado de hormigón suficientemente pesado y bien ejecutado era suficiente en casi todos los casos.

Existen trabajos que analizan el aislamiento acústico de recintos superpuestos<sup>[4,5]</sup> pero, si a las lagunas en el conocimiento constructivo mencionadas hasta ahora añadimos la escasez de datos fiables sobre aislamiento de forjados y de ensayos en aulas de gran volumen (de superficies mayor de 100m<sup>2</sup>) construidos principalmente en los años 30, 40 y 50 del pasado siglo, obtenemos el objetivo que específicamente se analizará.

## **2.- Materiales y métodos.**

### **2.1.- Historia y construcción de las aulas.**

Se llevó a cabo una toma de datos documental mediante búsquedas bibliográficas mediante bases de datos globales con la intención de encontrar toda clase de trabajos, libros y documentos existentes sobre la Ciudad Universitaria de Madrid y las distintas épocas que transcurrieron desde su gestación hasta la actualidad.

En paralelo a las búsquedas bibliográficas, se obtuvo alguna información y documentación en el Consorcio Urbanístico de la Ciudad Universitaria, y los

responsables de mantenimiento de las principales universidades que componen en la actualidad el Campus de Moncloa.

También se realizaron visitas durante varias semanas el Archivo Histórico de la Universidad Complutense, pudiendo encontrar entre la numerosa documentación (desordenada y caóticamente clasificada) varios originales en los que quedaban escritas las decisiones de la Junta Constructora y algunas mediciones, presupuestos y facturas que daban fe de determinados aspectos constructivos de los edificios.

Los datos sobre elementos constructivos que se encontraron en los archivos de la Junta constructora en la II República fueron escasos ya que fue casi todo devastado tras la guerra civil. De la nueva Junta Constructora creada tras la guerra tampoco fue posible obtener apenas datos dada la escasa definición constructiva y la existencia de numerosas obras de mantenimiento y reforma sin proyecto que generaron una gran cantidad documentación casi exclusivamente económica que no se considera de utilidad.

En todos los casos, fue necesario clasificar y organizar la numerosa documentación obtenida para que pudiera ser de utilidad.

Ante la frecuente existencia de datos desperdigados, proyectos completos perdidos y de la inexistencia de registros fiables sobre detalles constructivos concretos de las aulas, se optó por investigar uno a uno los recintos in situ, de modo que se pudiera determinar con fiabilidad las características constructivas de al menos los elementos que componen los recintos que serán objeto de ensayo.

Los recintos objeto de ensayo se seleccionaron entre las diferentes Facultades y Escuelas intentando que pudieran ser representativos de la construcción en diferentes décadas y diferentes sistemas constructivos.

Aún continuamos obteniendo datos ya que no se ha completado el programa de ensayos e investigación constructiva de los recintos.

## **2.2.- Ensayos in situ.**

El procedimiento seguido en los ensayos, ha sido el especificado por las partes correspondientes de la norma internacional ISO 140, que fue aprobada por CEN (el comité europeo de estandarización) como Norma Europea EN ISO 140:2004. Acústica. Medición del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción

Las partes de la Norma EN ISO 140-14:2004. que definen el procedimiento seguido han sido:

- Parte 4: Medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
- Parte 14: Directrices para situaciones especiales in situ.

La parte 4 de la norma EN ISO 140-14:2004 especifica los métodos aplicables in situ para medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, y para determinar la protección aportada a los ocupantes del edificio.

Este método proporciona valores del aislamiento acústico al ruido aéreo en función de la frecuencia.

La parte 7 de la norma EN ISO 140-14:2004 especifica métodos de ensayo in situ para la medida de las propiedades de aislamiento a ruido de impactos de suelos de edificios mediante el uso de una máquina de impactos normalizada. El método es aplicable tanto a suelos desnudos como a suelos con recubrimientos y proporcionan valores de aislamiento acústico al ruido de impactos en función de la frecuencia.

Sin embargo, las partes 4 y 7 de la norma EN ISO 140-14:2004 especifican el procedimiento de medición detallado en condiciones ideales, pero no aportan mucha información sobre cómo establecer una disposición de medición adecuada en recintos que no tengan forma paralelepípedica simple de dimensiones normales. Por ese motivo es necesario referirse a la parte 14 de la norma, donde se incluyen recomendaciones con respecto a los recintos de dimensiones muy grandes, recintos muy largos y estrechos, etc., y que son los casos en los que habitualmente nos encontramos al realizar ensayos en aulas de superficie mayor de 100 m<sup>2</sup>.

Para la determinación del índice de aislamiento, como un solo número, a partir de la dependencia frecuencial registrada con la metodología normalizada en las ISO 140, partes 4, 7 y 14, se ha hecho uso de lo que se establece en la norma:

UNE-EN ISO 717-1 . Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.(ISO 717-1:1996)

Parte 2: Protección contra el ruido de impactos.(ISO 717-2:1996)

La instrumentación de medida empleada para realizar los ensayos fue la indicada en la Tabla 1

<b>EQUIPOS</b>	<b>Marca y modelo</b>	<b>Nº Serie</b>
<b>Amplificador de potencia</b>	Brüel y Kjaer 2716	2640463
<b>Fuente sonora</b>	Brüel y Kjaer 4292	4292-001 021027
<b>Maquina de impactos normalizada</b>	Brüel y Kjaer 3207	
<b>Analizador</b>	Brüel y Kjaer 2260	1875592
<b>Calibrador</b>	Brüel y Kjaer 4231	2656567
<b>Generador</b>	Interno del sonómetro	

Tabla 1: Instrumentación de medida in situ del Laboratorio de Acústica y Vibraciones Aplicadas a la Edificación, al Medio Ambiente y al Urbanismo.

Las mediciones se realizaron en bandas de tercio de octava en un rango de frecuencias de 100 Hz a 5000 Hz.

Como las mediciones realizadas son entre recintos verticales, se utilizó el recinto inferior como recinto de emisión acústica aérea y recinto receptor a impactos. Se garantizó distancia suficiente entre el altavoz omnidireccional y el techo, evitando cualquier incidencia del sonido directo.

Se midieron los niveles de ruido de fondo en el recinto receptor (superior), para asegurar que las observaciones no estuvieran afectadas por sonidos ajenos y el tiempo de reverberación en cada recinto.

Aún continuamos obteniendo datos ya que aun no se ha completado el programa de ensayos in situ.

### 3.- Resultados.

#### 3.1.- Históricos y constructivos.

Se observan varias circunstancias históricas que afectaron a la construcción de los forjados y estructuras de la Ciudad Universitaria.

Los proyectos de la Oficina Técnica de la Junta Constructora de la Ciudad, dirigida por D. Modesto López Otero y que contaba como ingeniero con D. Eduardo Torroja Miret reconocido especialista en construcción en hormigón.

La apuesta del gobierno de la II República por la continuidad y por dotar presupuestariamente a la Junta, lo que permitió no escatimar en la selección de materiales.

Con la llegada de la Guerra, la destrucción completa de los edificios que quedaron en primera línea del frente construidos mediante muros de carga y estructuras isostáticas (Asilo de Santa Cristina, Instituto Rubio, Instituto Príncipe de Asturias, Instituto de Higiene, Fundación del Amo) . Por el contrario los edificios hiperestáticos de hormigón sufrieron grandes destrozos y desplomes parciales pero no llegaron a colapsar completamente.

Las reconstrucciones en el período de posguerra. La disponibilidad de materiales y mano de obra.

El uso de materiales y sistemas hoy en desuso o descatalogados.

La existencia o inexistencia de controles de los materiales distintos a los vigentes en la actualidad.

Todos estos aspectos, entre otros, se tienen en cuenta en cada caso. Sin embargo, al observarse la inexistencia de registros fiables sobre detalles constructivos concretos y es necesario obtener en todos los casos datos in situ.

Los datos obtenidos al investigar la composición constructiva concreta de una de las aulas ensayadas en la Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense de Madrid se presentan en la Tabla 2.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	DETALLE
Forjado:	Forjado mediante losa de hormigón y vigas de cuelgue de 30 x 46 cms. Luces entre vigas de 2,70 m. Espesor losa forjado: 12 cm.	
Falso Techo:	Sin falso techo. Guarnecido y enlucido de yeso.	
Pavimento:	Terrazo in situ. 2-3 cm espesor	

Fachada:	Descripción de exterior a interior. - 1 pie de ladrillo aplastado (a hueso). - Cámara de aire. - Tabique hueco doble - Guarnecido y enlucido de yeso - Gotelé y pintura temple  Espesor total: 70 cm.	
Tabiquería:	Descripción de exterior aula a interior. - Guarnecido y enlucido de yeso - Tabique hueco doble - Guarnecido y enlucido de yeso  Espesor total: 10 cm.	
Carpintería:	- Puerta de acceso de madera maciza con fijo acristalado de 100 x 40 cm - Ventanas batientes de acero. - Persianas de madera gran formato. Antiguamente eran batientes, muy deterioradas.	
Vidriería:	- Vidrio simple en ventanas exteriores y ventanal fijo de puerta.	
Mobiliario:	No absorbente.	

Tabla 2: Descripción constructiva del aula 200 de la Facultad de Filosofía UCM

### 3.2.- Acústicos.

Se siguen obteniendo resultados. Una muestra de los obtenidos hasta ahora se puede observar a continuación.

La Tabla 3 refleja la Diferencia de niveles estandarizada y Nivel de ruido de impactos normalizado y sus Índices ponderados globales entre aulas de superficie mayor de 100 m<sup>2</sup> pertenecientes a la Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense de Madrid. Resultados que se están completando con otros en recintos de Facultades y Escuelas de diferentes décadas y sistemas constructivos.

Facultad de Filosofía UCM		Año 1933 /1943 (Reconstrucción)		
Frecuencia (Hz)	DnT (dB)	DnTw (dB) (C,Cr)	L'nT (dB)	L'nTw (dB)
100	38,7		62,3	
125	38,2		63,5	
160	40,2		67,7	
200	41,2		67,8	
250	42,7		67,3	
315	43,1		67,2	
400	43,8		67,3	
500	45,1		69,1	
630	46,5		69,1	
800	47,7		69,4	

1000	50,0		69,5	
1250	53,0		66,8	
1600	56,0		66,4	
2000	60,2		64,4	
2500	63,1		63,1	
3150	65,7		62,8	
4000	67,8		61	
5000	67,5	50 (0,-3)	58,6	71

Tabla 3: Resultados de los ensayos in situ en la Facultad de Filosofía UCM

Ya llevamos realizados 10 ensayos completos (aéreo e impactos) en aulas mayores de 100 m<sup>2</sup> en 8 edificios diferentes construidos en distintas fechas que abarcan desde 1910/1925 (Primer edificio de Agrónomos) a 1988 (Aulario de la misma escuela). Esperamos pronto poder completar la serie de ensayos prevista.

#### 4.- Conclusiones.

El estudio que estamos realizando aborda el problema desde varios puntos de vista, realizando ensayos in situ, acústicos y de impacto, en recintos de superficie mayor de 100 metros cuadrados a lo largo de la historia de la Ciudad Universitaria de Madrid.

Los resultados acústicos se relacionan con la disposición y composición de los elementos constructivos teniendo en cuenta la época en la que se construyeron, y también se compararán con los resultados obtenidos en modelos predictivos. Sin embargo estamos aún recopilando datos y completando el programa de ensayos. Por lo tanto, es aún pronto para poder ofrecer una evaluación de los resultados y de la propia investigación puesto que no ha finalizado.

Esperamos pronto poder extraer consecuencias de los resultados de la investigación y que puedan ser publicados.

**Agradecimientos:** Al personal del Laboratorio de Acústica y Vibraciones Aplicadas a la Edificación, al Medio Ambiente y al Urbanismo de la ETSAM.

#### REFERENCIAS

- [1] Fernández de Sevilla Morales M. (2008) La Ciudad Universitaria de Madrid. Ochenta años de historia. 1ª Ed. EDISOFER, Madrid.
- [2] Chias Navarro P. (1986) La Ciudad Universitaria de Madrid. Génesis y Realización. 1ª Ed. Editorial de la Universidad Complutense, Madrid.
- [3] Rodríguez Sánchez A. (1999) Invariantes Constructivos del Ladrillo en la Arquitectura Madrileña del Segundo Cuarto de Siglo (1925-1950) Tesis Doctoral
- [4] Lorenzana Lorenzana T. ; González Suárez J. ; Machimbarrena Gutiérrez M. (2001) Estudio comparativo de aislamientos acústicos de forjados y medianeras. En Tecniacustica 01. La Rioja. España.
- [5] Arana M.; San Martín M.L.; Vela A.; Ezcurra A. (1999) Resultados del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto en viviendas de nueva construcción en Pamplona . En Tecniacustica 99. Avila. España.