

## BÚSQUEDA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LOS GRANDES PROYECTOS DE INGENIERÍA MEDIANTE LA MODELIZACIÓN ACÚSTICA 3D Y LA OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

PACS no: 43.55-n

Rodríguez Rodríguez, F.Javier<sup>1</sup>; Goicoechea Castaño, Itziar<sup>2</sup>; Fenollera Bolibar, María<sup>2</sup>; Patiño Cambeiro, Faustino<sup>2</sup>; Patiño Barbeito, Faustino<sup>2</sup>

1 G.O.C., S.A.

Dr. Canoa nº5-Bajo. Vigo, Pontevedra. España

Tel: 617 342 376

Fax: 986 374 854

E-mail: [acustica@gocsa.es](mailto:acustica@gocsa.es); [javierrodriguez.ruidos@gmail.com](mailto:javierrodriguez.ruidos@gmail.com)

2 Universidad de Vigo

Escuela de Ingeniería Industrial. Campus Universitario Lagoas Marcosende. Vigo, Pontevedra.

Tel: 986 813 647

E-mail: [igoicoechea@uvigo.es](mailto:igoicoechea@uvigo.es); [mfenollera@uvigo.es](mailto:mfenollera@uvigo.es); [faustino@uvigo.es](mailto:faustino@uvigo.es); [fpatino@uvigo.es](mailto:fpatino@uvigo.es)

### ABSTRACT

Actualmente resulta necesario que los grandes proyectos de ingeniería aborden las variables sociales, económicas y ambientales desde el momento inicial de diseño y dimensionado de los sistemas constructivos. La comunicación analiza distintas soluciones constructivas que permiten tanto el cumplimiento de las exigencias del DB-HR como la adopción de criterios de ingeniería sostenible, tomando como ejemplo el proyecto "Residencia Universitaria Rey Juan Carlos de Madrid".

Así, inicialmente, los ESV y ESH son optimizados acústicamente mediante modelizaciones 3D y, posteriormente, son evaluados mediante otras variables, considerando, además de los criterios sociales relativos al confort acústico, las condiciones de ejecución, la generación de residuos, el consumo de materias primas y energía y el coste. Por tanto, el estudio permite obtener la información necesaria en la toma de decisiones para la realización de un proyecto constructivo, de cara a aportar y potenciar criterios encaminados al diseño sostenible en edificación.

### RESUMEN

Actualmente resulta necesario que los grandes proyectos de ingeniería aborden las variables sociales, económicas y ambientales desde el momento inicial de diseño y dimensionado de los sistemas constructivos. La comunicación analiza distintas soluciones constructivas que permiten tanto el cumplimiento de las exigencias del DB-HR como la adopción de criterios de ingeniería sostenible, tomando como ejemplo el proyecto "Residencia Universitaria Rey Juan Carlos de Madrid".

Así, inicialmente, los ESV y ESH son optimizados acústicamente mediante modelizaciones 3D y, posteriormente, son evaluados mediante otras variables, considerando, además de los criterios sociales relativos al confort acústico, las condiciones de ejecución, la generación de residuos, el consumo de materias primas y energía y el coste. Por tanto, el estudio permite obtener la información necesaria en la toma de decisiones para la realización de un proyecto constructivo, de cara a aportar y potenciar criterios encaminados al diseño sostenible en edificación.

## 1. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO.

### 1.1. Consideraciones Previas del Estudio.

- La "Residencia Universitaria Rey Juan Carlos de Madrid" consta de 2 sótanos, 4 plantas y 216 habitaciones. El tratamiento otorgado será de "edificio de uso residencial público".

- Teniendo en cuenta los condicionantes normativos y las peculiaridades del edificio, se han considerado los siguientes aislamientos exigidos entre distintas plantas (cada planta recibe el tratamiento de unidad de uso respecto a las plantas colindantes):

Plantas (usos principales)	Aislamientos exigidos	
Sótano 2 (instalaciones y garaje)	$D_{nT,A} \geq 55$ dBA	
Sótano 1 (instalaciones, almacenes, salas de estudio)		$D_{nT,A} \geq 55$ dBA $L'_{nT,w} \leq 65$ dB
Planta baja (alojamientos y despachos)	$D_{nT,A} \geq 50$ dBA $L'_{nT,w} \leq 65$ dB	
Planta 1 (alojamientos)		$D_{nT,A} \geq 50$ dBA $L'_{nT,w} \leq 65$ dB
Planta 2 (alojamientos)	$D_{nT,A} \geq 50$ dBA $L'_{nT,w} \leq 65$ dB	
Planta 3 (alojamientos)		$D_{nT,A} \geq 55$ dBA $L'_{nT,w} \leq 60$ dB
Planta casetones (instalaciones)		

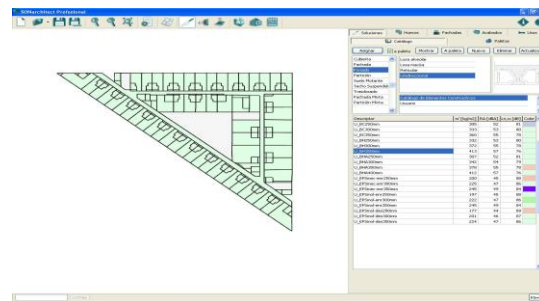
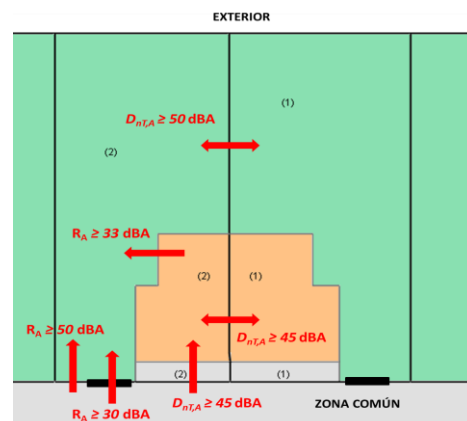
- Cada habitación (incluidos los baños) será considerada unidad de uso: De modo que el aislamiento entre ellas ha de proyectarse en  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA y  $L'_{nT,w} \leq 65$  dB entre zona de dormitorio / zona de dormitorio (de distintas habitaciones) y  $D_{nT,A} \geq 45$  dBA entre baño / baño (de distintas habitaciones). El aislamiento entre zona de dormitorio y baño de una misma habitación:  $R_A \geq 33$  dBA.

- Dado que el recinto protegido de las habitaciones (zona de dormitorio) es colindante con las zonas comunes mediante puertas, entonces se exige:  $R_A \geq 50$  dBA para la tabiquería y  $R_A \geq 30$  dBA para las puertas.

- Entre el baño de habitación (recinto habitable no protegido) y la zona común (pasillo) se establece una exigencia de  $D_{nT,A} \geq 45$  dBA.

- En relación al aislamiento respecto al ruido exterior, se considera, dado un entorno de campus, un valor del índice de ruido día:  $60 < L_d \leq 65$ ; de modo que el aislamiento de las fachadas de las habitaciones ha de situarse en  $D_{2m,nT,Atr} \geq 32$  dBA. (Sólo se aplica en recintos protegidos).

- Dado que las zonas comunes limitan con recintos protegidos mediante puertas, en ellas se han de instalar techos absorbentes para conseguir que, por lo menos, el área de absorción acústica equivalente (A) sea de  $0,2 \text{ m}^2$  por cada  $\text{m}^3$  del volumen del recinto. Así mismo también se deben instalar techos acústicos absorbentes en aulas y comedor para conseguir un tiempo de reverberación menor o igual a 0,7 y 0,9 segundos, respectivamente.



- Las modelizaciones se han desarrollado mediante un programa de cálculo (*SONarchitect*) que considera las transmisiones indirectas, según la denominada *opción general establecida por el DB-HR* (basado en la Norma 12354). (Se escogieron para la modelización los valores mínimos de  $m$  y  $R_A$ ).

## 1.2. Soluciones Constructivas Planteadas en Proyecto.

### A) Elementos de separación horizontales.

- Elemento de separación horizontal entre sótano 2 y sótano 1: losa armada de 250 mm y suelo flotante constituido por *Panel Solado de Isover* (20 mm de elemento elástico y film de polietileno de 0,2 mm como protección) en la zona de estancias. (Características acústicas del forjado:  $m = 625 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 64 \text{ dBA}$ . Características acústicas del suelo flotante empleados a efectos de modelización:  $\Delta R_A = 5 \text{ dBA}$  y  $\Delta L_W = 27 \text{ dB}$ ).

- Elemento de separación horizontal entre sótano 1 y Planta Baja: losa armada de 250 mm, suelo flotante constituido por *Panel Solado de Isover* (20 mm de elemento elástico y film de polietileno de 0,2 mm como protección) y falso techo. (Características acústicas del forjado:  $m = 625 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 64 \text{ dBA}$ . Características acústicas del suelo flotante empleados a efectos de modelización:  $\Delta R_A = 5 \text{ dBA}$  y  $\Delta L_W = 27 \text{ dB}$ ).

- Elemento de separación horizontal entre resto de plantas (planta baja/1ª; 1ª/2ª 2ª/3ª y 3ª/casetón instalaciones): forjado unidireccional de bovedilla de hormigón de 350 mm, suelo flotante constituido por *Panel Solado de Isover* (20 mm de elemento elástico y film de polietileno de 0,2 mm como protección) y falso techo. (Características acústicas del forjado:  $m = 413 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 57 \text{ dBA}$ . Características acústicas del suelo flotante empleados a efectos de modelización:  $\Delta R_A = 5 \text{ dBA}$  y  $\Delta L_W = 27 \text{ dB}$ ).

Notas: En los elementos de separación horizontal se considera un solado de 60 mm de mortero y terminación en gres. Se consideran falsos techos de diversos espesores de cámara.

### B) Elementos de separación verticales.

- Entre habitaciones se ejecuta tabiquería autoportante de doble perfilería formando el siguiente sistema: YL2x12,5+ATMW 45+YL12,5+ATMW 45+YL2x12,5 (la lana de roca posee  $40 \text{ kg/m}^3$  de densidad). ( $R_A = 57 \text{ dBA}$ ,  $m = 54 \text{ Kg/m}^2$ ).

- Entre baños de habitaciones se ejecuta tabiquería autoportante de doble perfilería formando el siguiente sistema: YL15+ATMW 45+YL12,5+ATMW 45+YL15 (la lana de roca posee  $40 \text{ kg/m}^3$  de densidad). ( $R_A = 52 \text{ dBA}$ ,  $m = 46 \text{ Kg/m}^2$ ).

- Entre habitaciones y zona común se ejecuta tabique 1/2 pie de ladrillo tosco enfoscado por una cara y trasdosado por un sistema autoportante de perfilería de 45 mm (sin lana mineral) y placa de 12,5 mm de yeso laminado.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Trasdosado: espesor/separación de montantes (sacbo de montante)	Distancia mínima entre anclajes al muro (m)	Aislamiento acústico (dB(A)) (aumento aproximado sobre el del muro)		Resistencia al fuego (con Lana de vidrio)(min)		Resistencia Térmica (con 40 mm de Lana de Vidrio) ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ )	
		Sin lana mineral	Con lana mineral	Con Placa PLADUR* N, WA, GD	Con Placa PLADUR*FOC		
61/600 (46)	1,70	$\Delta$ aprox 6	$\Delta$ aprox 15	-	-	0,969	0,969
76/600 (46)	2,55	$\Delta$ aprox 8	$\Delta$ aprox 15	-	60	1,290	1,290

- Como tabiquería interior de habitación (mismo usuario: zona de dormitorio/baño), es suficiente con ejecutar YL15+ATMW48+YL15: ( $R_A = 43 \text{ dBA}$ ,  $m = 26 \text{ Kg/m}^2$ ).

- El baño de habitación (recinto habitable no protegido) y la zona común están separadas por: *LHD de 7 cm con enfoscado por una cara con trasdosado interior (sistema autoportante de perfilería de 45 mm, sin lana mineral, y placa de yeso laminado de 12,5 mm de espesor) y 1/2 pie de ladrillo tosco hacia la zona común.*

### C) Sistema constructivo de fachadas.

- Parte ciega: Entre habitaciones y exterior se ejecuta fachada de sistema doble formada por fábrica de 1/2 pie de ladrillo cara vista, con revestimiento interior de mortero, cámara de aire de 50 mm de espesor y trasdosado interior con sistema autoportante de perfilera de 45 mm y 2 placas de 12,5 mm de yeso-lamiando (ejecutando en la perfilera aislamiento de lana de roca de 40 kg/m<sup>3</sup> y 50 mm de espesor). ( $R_A = 57$  dBA,  $m = 202$  Kg/m<sup>2</sup>).

- Ventanas: *Perfilera serie EM-54 con Rotura de puente térmico abatibles y vidrio Planistar incolor 6 mm, cámara de 12 mm y luna float Planilux de 4 mm.* ( $R_A = 33$  dBA y  $R_{Atr} = 30$  dBA).

### D) Techos acústicos absorbentes.

Instalación de techos para acondicionamiento acústico en aulas, comedor y pasillos (zonas comunes colindantes con recintos protegidos que comparten puerta): Aulas y comedor: techo acústico YL 15 ( $p=20$ ) + MW + C (=150), con  $\alpha = 0,6$ . Pasillos: techo acústico YL 15 ( $p=20$ ) + V + C (=150), con  $\alpha = 0,6$ .

### 1.3. Resultados Obtenidos de la evaluación del proyecto constructivo.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre sótano 2 y sótano 1 cumple el requisito normativo ( $D_{nT,A} \geq 55$  dBA). El aislamiento acústico a ruido aéreo y el aislamiento a ruido de impacto entre sótano 1 y planta baja cumple los requisitos normativos ( $D_{nT,A} \geq 55$  dBA y  $L'_{nT,w} \leq 65$  dB). El aislamiento acústico a ruido aéreo y el aislamiento a ruido de impacto entre planta 3 y recinto casetón de cubierta cumple los requisitos normativos ( $D_{nT,A} \geq 55$  dBA y  $L'_{nT,w} \leq 60$  dB).

- El aislamiento acústico a ruido aéreo y el aislamiento a ruido de impacto entre habitaciones de las restantes plantas cumple los requisitos normativos; se aportan algunos de los resultados obtenidos y comparativa con la exigencia: Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones de distintas plantas:  $D_{nT,A} = 62$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones colindantes de una misma planta:  $D_{nT,A} = 51$  dBA para el flanco sin baño y  $D_{nT,A} \geq 53$  dBA para el flanco con baño (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido de impacto obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones de distintas plantas:  $L'_{nT,w} = 44$  dB (aislamiento exigido  $L'_{nT,w} \leq 65$  dB). Aislamiento acústico a ruido de impacto obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones colindantes de una misma planta:  $L'_{nT,w} = 39$  dB (aislamiento exigido  $L'_{nT,w} \leq 65$  dB). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre baños de habitaciones de distintas plantas:  $D_{nT,A} = 62$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 45$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre baños de habitaciones colindantes de una misma planta:  $D_{nT,A} = 45$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 45$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre baños de habitaciones y zona común (pasillo):  $D_{nT,A} = 53$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 45$  dBA).

- El aislamiento a ruido aéreo obtenido de la fachada de las habitaciones cumple el límite estimado para el entorno del edificio ( $D_{2m,nT,Atr} \geq 32$  dBA).

- El sistema de tabiquería proyectado entre habitación y zona común (pasillo) cumple la exigencia del Documento Básico de "Protección frente al ruido" DB-HR del CTE en relación al aislamiento acústico a ruido aéreo que ha de poseer la tabiquería de un recinto protegido de una unidad de uso respecto a zona común cuando ambos recintos comparten puertas ( $R_A \geq 50$  dBA).

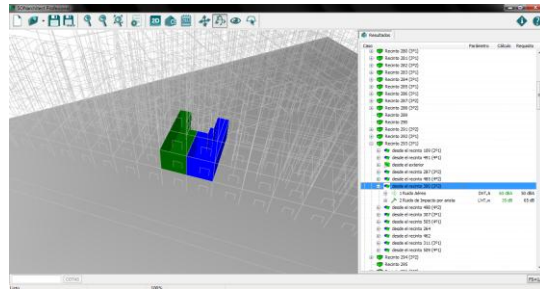
- El techo absorbente instalado ( $\alpha_m = 0,6$ ) en pasillos, aulas y comedor cumple las exigencias del DB-HR, según la absorción acústica equivalente necesaria, y los tiempos de reverberación exigidos (0,7 s y 0,9 s respectivamente).

## 2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN SOSTENIBLE DEL PROYECTO.

### 2.1. Elementos de Separación Verticales, ESV, entre habitaciones.

A continuación se aportan los resultados acústicos obtenidos entre habitaciones en función de la aplicación de diferentes elementos de separación vertical (ESV).

#### - Evaluación de dos modelos de ESV de Tipo 1.



#### A) Elemento base de una hoja de 115 mm con revestimientos + trasdosado (YL15+MW48+SP10)

Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 59$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 60$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).

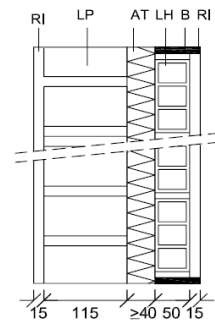
#### B) Elemento base de una hoja de 70 mm con revestimientos + trasdosado (YL15+MW48+SP10)

Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 57$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 58$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).

#### - Evaluación de dos modelos de ESV de Tipo 2.

#### A) RI15+LP15 +ATMW+LHS50+RI15 (con B10)

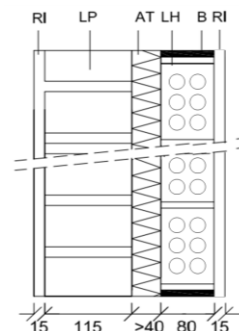
Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 55$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 57$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).



#### B) RI15+LP15 +ATMW+LHD80+RI15 (con B10)

El valor de  $R_A$  en no está tabulado y se ha tenido que estimar según criterios propios acústicos. Esta opción preferible en caso de que en la partición entre habitaciones exista instalación de cajas eléctricas o similares.

Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 59$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  $D_{nT,A} = 61$  dBA (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).



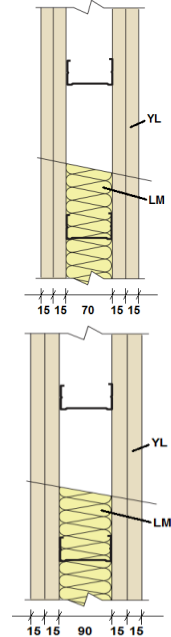
**- Evaluación de dos modelos de ESV autoportantes**

**A) YL2X15+ATMW70+YL2X15**

Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  **$D_{nT,A} = 49$  dBA** (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  **$D_{nT,A} = 51$  dBA** (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).

**B) YL2X15+ATMW90+YL2X15**

Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño no colindante** de una misma planta:  **$D_{nT,A} = 52$  dBA** (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA). Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones con **baño colindante** de una misma planta:  **$D_{nT,A} = 54$  dBA** (aislamiento exigido  $D_{nT,A} \geq 50$  dBA).



**2.2. Elementos de Separación Horizontales, EVH.**

La primera consideración es utilizar los mismos tipos de forjados pero reducir el canto, es decir, disminuir la masa de los forjados y, por tanto, el coste económico de la solución constructiva (en este estudio sólo se tiene en cuenta el cumplimiento de los criterios acústicos del DB-HR para aportar información al proyecto; sería necesario un análisis complementario para verificar que se cumplen los requisitos de los restantes documentos básicos del CTE).

- Para ello, se evalúan sistemas constructivos de forjados con una reducción de 50 mm en el canto y son los siguientes: Entre sótano 2 y sótano 1, y entre sótano 1 y planta baja: **losa armada de 200 mm**. (Características acústicas del forjado:  $m = 500 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 60$  dBA). Entre resto de plantas (planta baja/1ª; 1ª/2ª 2ª/3ª y 3ª/casetón instalaciones): **forjado unidireccional de bovedilla de hormigón de 300 mm (UBH300)**. (Características acústicas del forjado:  $m = 372 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 55$  dBA). El cálculo refleja que **estas soluciones constructivas cumplen** los parámetros acústicos exigidos por el DB-HR.
- A continuación se evalúa la opción de ejecutar un forjado prefabricado en lugar del forjado unidireccional de bovedilla de hormigón y mantener la losa maciza de 200 mm entre sótano 2/sótano 1 y sótano 1/planta baja: aplicación de **Losa alveolar sin capa de compresión y con canto de 300 mm** (características acústicas del forjado:  $m = 387 \text{ Kg/m}^2$ ;  $R_A = 56$  dBA). Dicha solución **cumple todos los requisitos acústicos** exigidos por el DB-HR ( $L'_{nT,w}$  y  $D_{nT,A}$ ) y, por tanto, resulta una solución totalmente válida desde el punto de vista acústico.

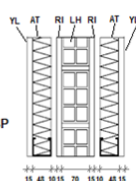
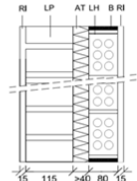
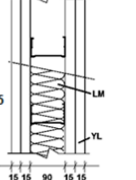
**3. CONCLUSIONES: COMPARATIVA Y OPTIMIZACIÓN SEGÚN FACTORES ACÚSTICOS, SOCIALES, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES.**

**3.1. Elementos de Separación Verticales, ESV, entre habitaciones.**

Una vez evaluadas las condiciones acústicas aportadas por los diferentes Elementos de Separación Verticales (ESV) se analizarán cuantitativa y cualitativamente otros factores condicionantes (coste, consumo de materia prima, generación de residuos, etc.) para evaluar el

posible modelo más viable y sostenible en la edificación. Para ello, de cara a abordar la comparativa se ha elegido un modelo de cada par de los anteriormente analizados, el cual se considera de mayor empleabilidad en términos acústicos y constructivos.

### Resumen de Comparativa entre las diferentes tipologías de ESV

	 <b>TIPO 1</b> RI15+LHD70+RI15 TRA YL15+MW48+SP	 <b>TIPO 2</b> RI15+LP115+AT+ +LHD80B+RI15	 <b>TIPO 3</b> YL2x15+LM90+YL2x15
<b>Masa (kg/m<sup>2</sup>)</b> <sup>(1)</sup>	121	258	54
<b>R<sub>A</sub> (dBA)</b> <sup>(2)</sup>	60	62	55
<b>D<sub>nt,A</sub> (dBA)</b> <sup>(3)</sup>	57; 58	59; 61	52; 54
<b>Espesor total (mm)</b>	246	265	150
<b>Coste económico (€/m<sup>2</sup>)</b> <sup>(4)</sup>	90,08	84,86	52,62
<b>Mantenimiento decenal (€/m<sup>2</sup>)</b>	3,31	1,87	2,45
<b>Generación residuos (kg/m<sup>2</sup>)</b> <sup>(5)</sup>	17,98	38,61	5,09
<b>Consumo de m.p. (kg/m<sup>2</sup>)</b>	155,03	278,32	58,64
<b>Consumo de energía (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	599,59	934,52	402,67
<b>Emisiones CO<sub>2</sub>eq. (kg/m<sup>2</sup>)</b>	48,35	72,14	34,70
<b>Tiempo de ejecución</b> <sup>(6)</sup>	5	3	1

<sup>(1)</sup> Se estima en 16 kg/m<sup>2</sup> la masa de cada trasdosado (YL15+MW48), al ser 16 kg/m<sup>2</sup> el trasdosado YL15+LM46 del *Catálogo de Sistemas PLADUR*. Por lo tanto la masa total es (89+16+16) kg.

<sup>(2)</sup> El R<sub>A</sub> se estima como la suma de la R<sub>A</sub> de la hoja principal y 3/2 del ΔR<sub>A</sub> del trasdosado.

<sup>(3)</sup> Valor medio de D<sub>nt,A</sub> entre habitaciones del edificio con baños no colindantes y con baños colindantes, respectivamente.

<sup>(4)</sup> Costes directos + costes indirectos.

<sup>(5)</sup> Ver en anexo V: Plan de Gestión de Residuos que ha de realizar el productor según Real Decreto 105/2008.

<sup>(6)</sup> Según escala de 1 a 5 (de menor a mayor tiempo de ejecución).

- Por tanto, se comprueba que desde un punto de vista económico y medioambiental la solución de tabiquería autoportante (Tipo 3) resulta la mejor opción. Además, teniendo en cuenta el espesor y la masa, ésta, a pesar de aportar el menor aislamiento entre recintos, se convierte en la alternativa más propicia para proyectos de edificaciones que pretendan el cumplimiento del DB-HR, sin buscar un sobredimensionamiento de los ESV, pues el D<sub>nt,A</sub> obtenido varía entre 52 dBA y 54 dBA. Se recomienda esta solución para edificios de uso residencial público, administrativo, sanitario y docente (pues en uso residencial privado aún han de subsanarse las reticencias sociales).

- Para proyectos constructivos de uso residencial privado, recomendamos la opción Tipo 1 pues el aislamiento acústico entre recintos, cuando esta situación se emplea como ESV, resulta elevado (debido entre otros factores a la combinación de elementos de frecuencia crítica muy distinto) superando de modo



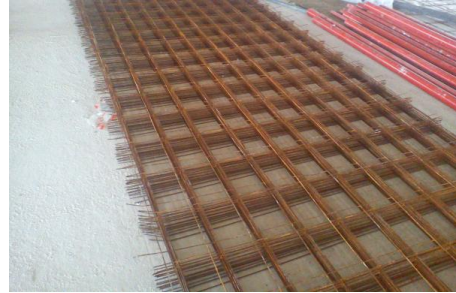
amplio las exigencias del DB-HR (incluso para la separación de recintos protegidos con recintos de instalación). Por otra parte, no posee tanta masa como la solución Tipo 2 y aunque el coste económico resulta ligeramente superior a la solución Tipo 2, los factores condicionantes ambientales reflejan mejores resultados que ésta.

Nota: No se ha de olvidar que el *Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición* tiene por objeto contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción.



### **3.2. Elementos de Separación Horizontales, EVH.**

En relación a la evaluación de los ESH, conviene indicar que sólo se ha tenido en cuenta la variación en las características del forjado, manteniendo los demás componentes según propuso el proyectista. Una vez modelados y evaluados los diferentes sistemas constructivos, se llegó a una serie de conclusiones y aspectos relevantes para la elección del forjado:



Al reducir el canto, tanto si se opta por un forjado unidireccional como por una losa alveolar, se obtiene una reducción en la masa superficial del elemento de forjado, lo que repercute en una disminución del coste y del consumo de materia prima. Además de los costes directos, existen unos costes indirectos (plazo de ejecución, maquinaria, consumo de energía, etc.) que en el caso de la losa alveolar son muy reducidos. Desde el punto de vista ambiental, los forjados *in situ* (unidireccional de bovedillas de hormigón) requieren un gran consumo de materias primas (acero, hormigón, madera, etc.) y un alto consumo de energía (sobre todo en agua y electricidad). Sin embargo, los forjados prefabricados (losa alveolar) generan menor volumen de residuos que los forjados *in situ*. Además de las variables económicas, sociales y ambientales de cada tipo de forjado, también juega un papel muy importante la aplicabilidad a cada tipo de obra. La mayor ventaja de los forjados *in situ* radica en su capacidad para asumir grandes luces y cargas y su adaptación a geometrías complicadas con huecos y voladizos, es decir poseen una mayor flexibilidad en obra. De este modo ofrece soluciones para todo tipo de situaciones. El forjado prefabricado está más limitado por la geometría, resultando más rentable cuanto más simple sea ésta. La placa alveolar está limitada en altura debido a su peso.

Por tanto, se puede concluir en que el forjado de losa alveolar es más adecuado para lograr una máxima comodidad, sostenibilidad y ahorro en coste y tiempo, además de cumplir todas las exigencias acústicas requeridas según se ha reflejado mediante la modelización.

### **Referencias**

- Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo, César Díaz Sanchidrián "*Guía acústica de la Construcción*" 2ª ED. Dossat 2000. Edición 2008.
- "Manual del Usuario SONarchitec CTE". Sound of Numbers 2009.
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, "Catálogo de elementos constructivos del CTE". Marzo 2010.
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, "Guía de aplicación del DB-HR Protección frente al ruido". Agosto 2009.
- Ministerio de Fomento. Secretaría de estado de vivienda y actuaciones urbanas. Dirección general de Arquitectura y Política de vivienda, "Documento Básico HR, Protección frente al ruido. Con comentarios del ministerio de fomento". Septiembre de 2009.
- PLADUR uralita, "Sistemas PLADUR. Resumen de características técnicas. Enero de 2012.