

EJEMPLO DE PROYECTO DE REHABILITACION SOSTENIBLE EN LOS EDIFICIOS DEL MINISTERIO DE DEFENSA: CONSIDERACIONES ACÚSTICAS DERIVADAS DE LA EJECUCIÓN DE FORJADOS DE CHAPA COLABORANTE

PACS: 43.58.Ta

Rodríguez, Francisco Javier; Gonzalez, Arturo; Bellas, Roberto; Martínez, Javier
Centro Universitario de la Defensa (CUD) de la Escuela Naval Militar (ENM).
Plaza de España s/n.
36920 Marín, España.
Tel: 00 34 986 80 49 16
E-Mail: fjavierrodriguez@tud.uvigo.es

Palabras Clave: Forjado colaborante, rehabilitación sostenible, CTE, DB-HR.

ABSTRACT

Public bodies have been showing an increasing interest in introducing sustainability criteria in their policies and actions. In this sense, the Spanish Navy owns several buildings with a great potential to be sustainably refurbished for their historical and cultural value. One of the major challenges in refurbishing historical buildings is the substitution of their ceilings and floors because of dimensional restrictions, structural load increase and building difficulties. The use of composite slabs is growing for these kind of applications due to their reduced thickness, relative simplicity of construction and good structural behavior. This work presents a proposal for refurbishing the building "Penal de Cuatro Torres", in Cádiz, by using composite slabs, together with the results obtained in the corresponding acoustic 3D modelling

RESUMEN

Se aprecia una sensibilidad a que los Organismos adopten criterios sostenibles en todos sus ámbitos. La Armada Española posee edificios susceptibles de revitalización por su valor cultural. La sustitución integral de los ESH en la rehabilitación suele ser problemática: restricciones en dimensiones, incremento de carga estructural y dificultad de ejecución. Los forjados de chapa colaborante poseen utilización creciente: facilidad de ejecución, reducidas dimensiones de canto y buen comportamiento estructural. El presente trabajo refleja un ejemplo de posible rehabilitación, Penal de Cuatro Torres (Cádiz), mediante un forjado de chapa colaborante y los resultados obtenidos de la modelización acústica 3D del proyecto.

1. DEFINICIÓN DEL FORJADO DE CHAPA COLABORANTE

Los sistemas de separación horizontal (ESH) en edificación están constituidos por un forjado, un suelo flotante en la parte superior del mismo (poseedor de elemento elástico) y, en algunos casos, techo acústico en la parte inferior. El forjado colaborante pertenece a la tipología de forjados mixtos, pues se trata de un elemento estructural compuesto de hormigón y de acero,

conectados de forma que se limite el deslizamiento y la separación entre ellos. Generalmente se utiliza una placa grecada de acero, sobre la que se vierte el hormigón y se coloca el mallado antifisuración; una vez fragua el hormigón, los materiales quedan interconectados para resistir efectos rasantes.

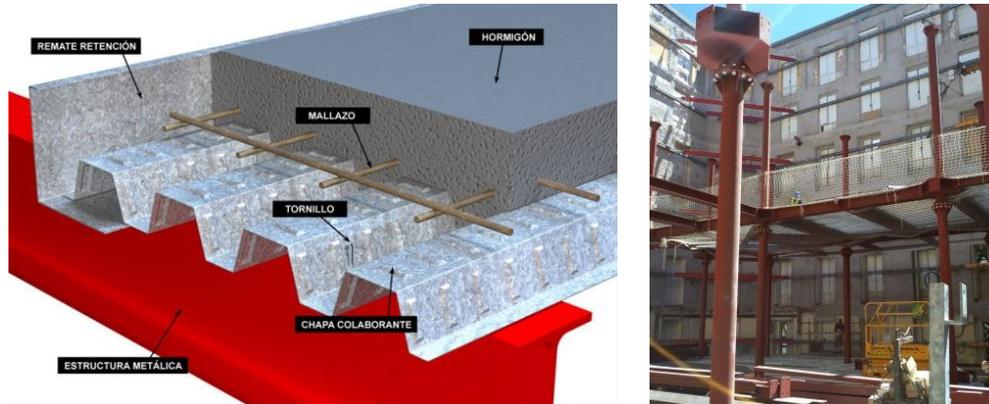


Figura 1. a) Elementos de un forjado de chapa colaborante y b) Rehabilitación de inmueble mediante un forjado de chapa colaborante, nueva tienda Zara Serrano en Madrid.

2. EJEMPLO DE LA REHABILITACIÓN INTEGRAL DE UN EDIFICIO DE LA ARMADA MEDIANTE EL EMPLEO DEL FORJADO DE CHAPA COLABORANTE: EL PENAL DE CUATRO TORRES

El Penal de las Cuatro Torres se encuentra enclavado en un islote conocido como de Santa Lucía, concretamente al nordeste del Arsenal de la Carraca, bañado por las aguas del Caño de la Culebra y frente a la Isla Bernal y a la antigua salina Santa Gertrudis.



Figura 2. a) Imagen aérea del Penal en su estado actual y b) Fachada principal.

El antiguo edificio contaba con grandes espacios con techos altos para acomodar a un elevado número de personas en un mismo recinto. Destaca la presencia de un patio interior que aportaba cierta libertad a los presos, el cual contaba con una terraza sobre columnas desde la que los reos eran vigilados en estas condiciones.



Figura 3. a) Patio Antiguo y b) Fachada lateral, apreciación entreplanta.

El proyecto de rehabilitación que se propone a modo de ejemplo conservará la fachada y mantendrá la estructura de las plantas, aunque se ganará más espacio al aprovechar como recinto habitable la antigua terraza orientada al patio interior de la cárcel, el cual no se modificará para así aportar luz a la zona interior y, además, conservar la edificación de la manera más fiel posible a lo que fue en el pasado. Las torres alojarán las instalaciones necesarias. El nuevo uso que le otorgaremos al edificio será el de residencia y oficina (residencial privado y administrativo) para el personal militar de la zona, contando con nuevos recintos como biblioteca, gimnasio o salas de conferencias. Hemos decidido esta tipología de edificación por su carácter práctico y de importancia para la Armada. El proyecto del edificio del Penal de Cuatro Torres se proyecta en 3 plantas sobre rasante y una cuarta planta en la que se encuentran las antiguas torres, distribuidas por usos del siguiente modo:

Tabla 1. Distribución nueva planta residencial.

Plantas	Usos	
Baja	- Recepción - Comedores y Cocina - Gimnasio y Vestuarios - Servicios básicos	- Cuerpo de Guardia - Cafetería - Oficinas
Entreplanta	- Habitaciones - Oficinas	- Sala de Reuniones - Servicios básicos
Primera	- Habitaciones - Sala de Conferencias - Sala de Estudio	- Biblioteca - Oficinas - Servicios básicos
Segunda (Torres)	- Instalaciones	

3. LA REFORMA ESTRUCTURAL: COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL FORJADO DE CHAPA COLABORANTE PROYECTADO

Se proyecta un perfil de uso de **14 cm de canto de forjado y 1mm de espesor de chapa de acero grecado**. En función de las cargas de uso máximas y el peso propio de la estructura se ha obtenido la luz máxima podemos aplicar en nuestro proyecto. Para ello se ha seleccionado un elemento existente en el mercado y se han consultado las propiedades estructurales aportadas por el fabricante: *forjado colaborante INCO70.4 de 1 mm sin apuntalamiento central*. Se ha aplicado para la sobrecarga estructural por el uso aquella más restrictiva para nuestro edificio, C2, y se empleó la carga recomendada por el CTE de 4 Kg/m². Para el peso propio, se consideró el de la estructura y de todos los componentes horizontales que le hemos añadido: cubierta (200 kg/m²), techo suspendido (10 kg/m²), capa de mortero (100 kg/m²) y forjado. Este último componente (244 kg/m²) deriva de los datos relativos a 1 mm de espesor de chapa grecada y 14 cm de canto. Ello refleja una Carga Máxima de 821,13 Kg/m² y como resultado una luz máxima de hasta los 3 metros.

4. MODELIZACIÓN ACÚSTICA DEL PROYECTO DEL EDIFICIO SEGÚN LA REHABILITACIÓN PLANTEADA PARA EL MISMO: VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL DB-HR

La modelización acústica se ha desarrollado mediante un programa de cálculo (*SONArchitect CTE*) que considera las transmisiones indirectas, según la denominada opción general establecida por el DB-HR (basado en la Norma 12354), que permite determinar los niveles de aislamiento a ruido aéreo, niveles de aislamiento a ruido de impacto y niveles de reverberación obtenidos con las soluciones constructivas proyectadas; obteniendo, al final del cálculo, los valores cuantificados con la magnitud acústica que define cada exigencia según el citado DB-HR. Es importante destacar que al no recoger la base de datos del software el forjado que proponemos, hemos tenido que introducir como “elemento nuevo” de cálculo los valores del comportamiento acústico en laboratorio (tanto a ruido aéreo como de impacto) aportados por el fabricante *Incoperfil INCO 70.4 Colaborante*.

4.1. Consideraciones previas

a) La primera consideración de la que se parte es el tratamiento del edificio como un “edificio de uso residencial privado”. Teniendo en cuenta los condicionantes normativos y las peculiaridades del edificio, cada planta recibe el tratamiento de unidad de uso respecto a las plantas colindantes.

b) Cada habitación (incluidos sus baños) se considera 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 será de $R_A \geq 33$ dBA (se adoptará la exigencia del DB-HR para el aislamiento de la tabiquería en edificios de uso residencial privado).

c) 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 el cerramiento 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.

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

e) Dado que las zonas comunes (pasillos) limitan con recintos protegidos (zona de dormitorio de habitaciones) 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 $0,2$ m² por cada m³ del volumen de la zona común. Así mismo, también se deben instalar techos acústicos absorbentes en las aulas y comedor para conseguir un tiempo de reverberación menor o igual a $0,7$ segundos y $0,9$ segundos, respectivamente.

4.2. Soluciones constructivas planteadas en el proyecto de residencia del Penal

a) *Elementos de separación horizontal (ESH) proyectados en la rehabilitación*

- **Forjado:** Dado que estamos evaluando el comportamiento de uso de forjados de chapa colaborante, adoptaremos como ejemplo para el proyecto planteado el forjado comercial ya mencionado (*perfil INCO70.4 Colaborante*, de 1 mm de espesor en la chapa, de *Incoperfil*); concretamente, el elemento de 140 mm de canto para las plantas sin cubiertas y de 160 mm para

las zonas que deban soportar estas condiciones. El fabricante aporta unos los siguientes valores acústicos: aislamiento a ruido aéreo $R_A = 46$ dBA y 48 dBA y nivel de ruido de impacto $L'_{nT,w} = 89$ dB y 87 dB, respectivamente.

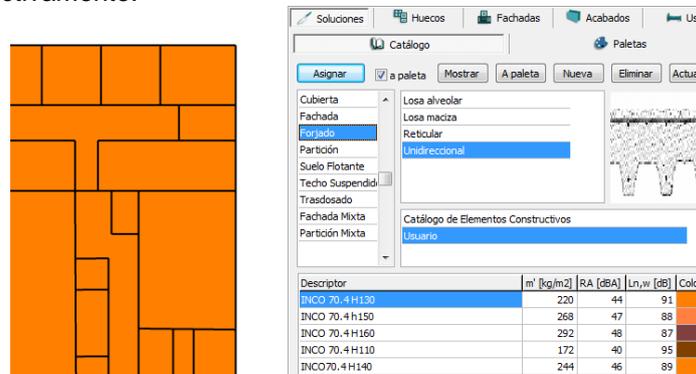


Figura 4. Asignación de características del forjado seleccionado en el software acústico.

- **Suelos flotantes:** Respecto a la reducción del nivel del ruido de impacto (pasos, golpes y caída de objetos, que generan ruido en recintos colindantes vertical y horizontalmente), para mejorar la calidad acústica se ha decidido proyectar un elemento elástico comercial en base a lana mineral de 20 mm, debajo de una capa de mortero de 50 mm. (AC+M50+ARMW20).

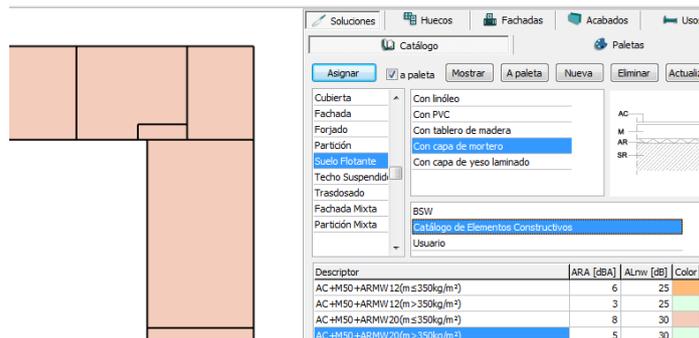


Figura 5. Asignación de las características del suelo flotante seleccionado.

- **Techos acústicos absorbentes:** Es necesario proyectar sistemas de techos absorbentes acústicos en pasillos, salas de estudio, biblioteca y salas de conferencia y reuniones. Se ha seleccionado, para el cálculo acústico, un sistema que ha de poseer, según fabricante, un coeficiente de absorción medio (para las frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz) de $\alpha_{mt} \geq 0,7$. De modo concreto, podría tratarse de una placa acústica de 1 capa de viruta de madera ligada con magnesita con ancho de fibra 1 mm, de designación comercial *Heradesign superfine*. Este sistema sería suficiente para cualquiera de los espesores de placa (15, 25 ó 35 mm) siempre que se instalase en la parte superior de ella (relleno posterior) una capa de lana mineral de 30 mm. Para una ejecución sin lana mineral, el espesor de la placa acústica debiera de situarse en 25 mm.

b) *Elementos de separación vertical (ESV) proyectados en la rehabilitación*

- Entre unidades de diferente uso: Para estos casos se ha proyectado el siguiente sistema constructivo: YL 2x15 + ATMW70 + YL 2x15. Es decir, doble placa de yeso laminado de 15 mm, lana mineral de 70 mm (con una resistividad al flujo de aire mínima de 5 kPa·s/m²) y doble placa de yeso laminado de 15mm. ($R_A = 54$ dBA; $m = 51$ Kg/m²).

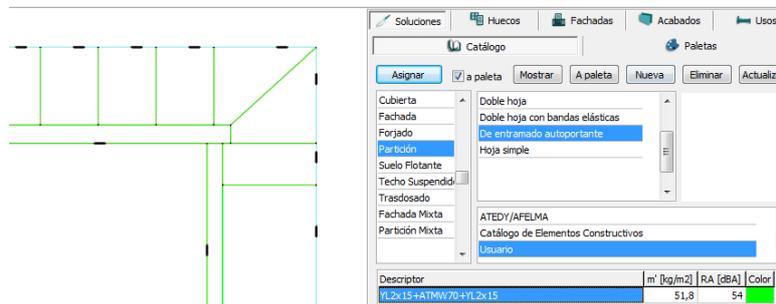


Figura 6. Asignación de las características acústicas.

Para el elemento separador vertical entre baños de distintas habitaciones se proyectó el sistema: YL 2x15 + ATMW46 + YL 2x15. Es decir, doble placa de yeso laminado de 15 mm, lana mineral de 46 mm (con una resistividad al flujo de aire mínima de 5 kPa·s/m²) y doble placa de yeso laminado de 15 mm. (m=51,4 Kg/m²; RA= 51 dBA).

- Entre unidades de uso y pasillos: Para estos casos se ha aplicado el siguiente sistema constructivo: YL 2x15 + ATMW46 + YL 2x15. Es decir, doble placa de yeso laminado de 15 mm, lana mineral de 46 mm (con una resistividad al flujo de aire mínima de 5 kPa·s/m²) y doble placa de yeso laminado de 15 mm. (RA > 50 dBA). Las puertas han de poseer un aislamiento en laboratorio de RA ≥ 30 dBA (dato que ha de aportar el fabricante). Este sistema YL 2x15 + ATMW46 + YL 2x15 es aplicable para el caso de separación de baño de habitación y pasillo.

- Fachada: Para la simulación de la fachada se ha considerado la restauración de ésta y a efectos del programa se ha simulado mediante una hoja exterior de áridos finos con el espesor correspondiente, a la cual se le ha trasdosado interiormente una hoja de ladrillo hueco simple (de cara a la consecución de un estético acabado interior de obra).

4.3. Resultados obtenidos de la modelización acústica

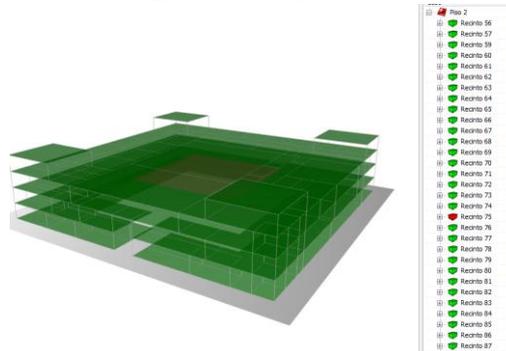


Figura 7. Imagen resultado de la modelización acústica del Penal de Cuatro Torres.

Como resultados y conclusiones, el aislamiento acústico a ruido aéreo y el nivel de ruido de impacto entre habitaciones cumplen los requisitos normativos. Se aportan a continuación algunos de los resultados obtenidos y su comparativa con la exigencia:

- **Aislamiento acústico a ruido aéreo** obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones de distintas plantas: $D_{nT,A} = 56$ dBA (aislamiento exigido $D_{nT,A} \geq 50$ dBA).

- **Nivel de ruido de impacto** obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones de distintas plantas: $L'_{nT,w} = 54$ dB (aislamiento exigido $L'_{nT,w} \leq 65$ dB).

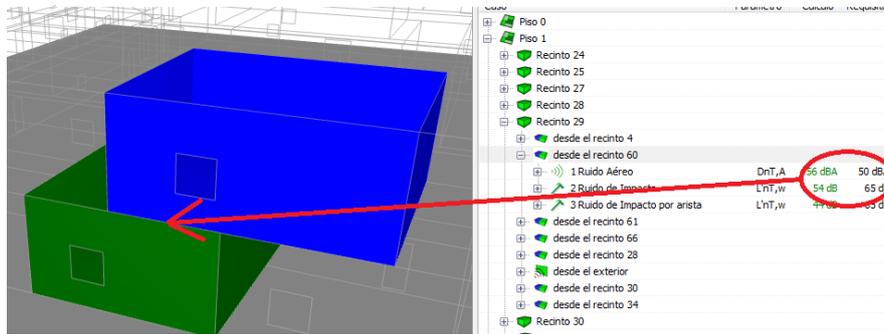


Figura 8. Resultados de aislamiento a ruido aéreo y de impacto entre dos habitaciones en distintas plantas.

- Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido entre zonas de dormitorio de habitaciones colindantes de una misma planta: $D_{nT,A} = 54$ dBA (aislamiento exigido $D_{nT,A} \geq 50$ 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).

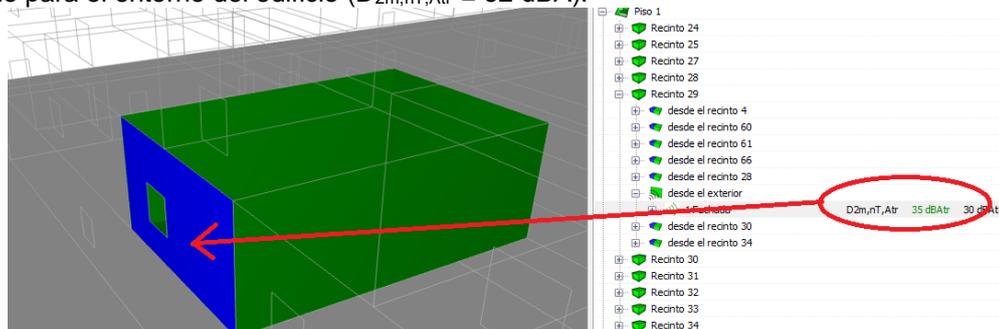


Figura 9. Resultados del aislamiento a ruido aéreo respecto al exterior.

- El techo acústico absorbente empleado en la modelización ($\alpha_m = 0,7$) en pasillos, aulas y comedor permite el cumplimiento de las exigencias del DB-HR, en relación a la absorción acústica equivalente necesaria y a los tiempos de reverberación exigidos (0,7 segundos en aulas y 0,9 segundos en comedores, respectivamente).

5. CONCLUSIONES

El proyecto de rehabilitación propuesto a modo de ejemplo, edificio del *Penal de las Cuatro Torres*, en relación al empleo de forjados mixtos de chapa colaborante, refleja como éste elemento es susceptible de ser considerado en obras de tal alcance. Así, los resultados acústicos obtenidos en las modelizaciones para un forjado de *14 cm de canto y 1 mm de espesor de chapa de acero grecado* permiten el cumplimiento de los criterios normativos del Código Técnico de la Edificación (además de los resultados estructurales y térmicos derivados de sus correspondientes estudios).

REFERENCIAS

Esta comunicación deriva del Trabajo Fin de Grado, Grado en Ingeniería Mecánica, desarrollado por D. David Rodríguez Collantes *“La rehabilitación en los edificios de la Armada: consideraciones estructurales, térmicas y acústicas derivadas de la ejecución de forjados de*

chapa colaborante”, en el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar, 2015-2016. (Se puede consultar en la siguiente dirección: <http://calderon.cud.uvigo.es>).

- Laguna, C. I. *Forjados mixtos de chapa colaborante. Análisis, proyecto y construcción*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, **2008**.
- Rodríguez, F.J., Álvarez, A. *La nueva tienda Zara Serrano: Imagen de la integración de la sostenibilidad en el modelo de negocio de INDITEX*. Congreso Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. (WWW.conama2014.org); Madrid, **2014**.
- Google, “www.google.es/imagenes”, Available: www.google.es. [Último acceso: Enero **2016**].
- d. I. C. Jefatura de Edificaciones Navales, *Penal de Cuatro Torres*, San Fernando: Ministerio de Defensa.
- E. d. N. y. Certificación, Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón, Madrid: AENOR, **2011**.
- R. M. y. F. J. Rodríguez, *Desarrollo de proyectos acústicos por el método general del DB-HR*, Tecnología y sociedad, **2012**.
- E. T. y. CSIC, Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control, Madrid, **2015**.
- Ministerio de Vivienda, CTE-DB-HE Documento básico de ahorro energético, Gobierno de España, **2006**.
- *INCOPERFIL*, Dossier Técnico Forjado colaborante INCO 70.4, Valencia: Ingeniería y Construcción del Perfil S.A., **2007**.
- *URSA*, Manual de aislamiento, Madrid: URSA Insulation SA, **2009**.