



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

La rehabilitación en los edificios de la Armada: consideraciones estructurales, térmicas y acústicas derivadas de la ejecución de forjados de chapa colaborante.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: David Rodríguez Collantes

DIRECTORES: Arturo González Gil

Francisco Javier Rodríguez Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

La rehabilitación en los edificios de la Armada: consideraciones estructurales, térmicas y acústicas derivadas de la ejecución de forjados de chapa colaborante.

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La obligatoriedad de conservar la configuración de un edificio existente, su estructura, su fachada o incluso elementos más singulares, como escaleras o acabados, dificulta la aplicación de ciertos apartados del Código Técnico de Edificación (CTE) como la accesibilidad o la protección contra el ruido. En particular, la sustitución integral de los elementos de separación horizontal en edificios suele ser problemática por las restricciones en las dimensiones, el posible incremento de carga en la estructura existente y los resultados de protección acústica.

Actualmente, los forjados de chapa colaborante son cada vez más utilizados en las obras de rehabilitación por su facilidad de ejecución, reducidas dimensiones de canto y buen comportamiento estructural.

Este trabajo pretende evaluar desde un punto de vista estructural, acústico y térmico la posible aplicación de este tipo de forjados en proyectos de reforma y rehabilitación de edificios de la Armada. Además, conviene indicar que el desarrollo de tales proyectos constructivos permitirá demostrar los esfuerzos de la Armada por integrar la variable sostenible en su modelo de actuación, lo cual será valorado por sus grupos de interés.

PALABRAS CLAVE

Forjado colaborante, rehabilitación, CTE (Código Técnico de la Edificación), DB-HR (Documento Básico de protección frente al ruido), DB-HE (Documento Básico de Ahorro Energético).

AGRADECIMIENTOS

Hay muchas personas a las que debería agradecer pero en especial quiero dedicar este trabajo a mis padres, Rafael y Pilar, y mi hermano Jaime, por su apoyo incondicional; y como no también a mi Sarita, por aguantarme todos los días.

Tengo que dar las gracias por supuesto a mis tutores, Javier y Arturo por guiarme en este proyecto y prestar toda su ayuda en cualquier momento que la necesitase.

También quería agradecer a todo el personal que me ayudo de una u otra forma en la realización de este trabajo, como son el personal del Real Observatorio de la Armada y de la Jefatura de Edificaciones Navales del Arsenal de la Carraca; en especial a Angelita, Luis María y Nicolás.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	9
1 Introducción y objetivos	11
1.1 Problemática.....	11
1.2 Objetivos	12
1.3 Metodología	12
2 Estado del arte	15
2.1 El forjado.....	15
2.1.1 Definición y clasificación	15
2.1.2 Características de los forjados	16
2.1.3 Tipos de forjado	18
2.2 El forjado colaborante	21
2.2.1 Definición del forjado colaborante	21
2.2.2 Componentes del forjado colaborante	22
2.2.3 Funcionalidad del forjado colaborante	25
2.2.4 Tipos de engarce más comunes	26
2.2.5 Puesta en obra del forjado colaborante	26
2.3 Conceptos previos relativos al aislamiento acústico necesarios para el estudio.....	35
2.4 Conceptos relativos al aislamiento térmico necesarios para el estudio	40
2.4.1 Conducción, convección y radiación.....	40
2.4.2 Medición de la transmisión.....	40
2.4.3 El problema de puente térmico	42
3 Aspectos normativos	43
3.1 El comportamiento resistente del forjado colaborante.....	44
3.1.1 Tipos de comportamiento	45
3.1.2 Detalles constructivos	45
3.1.3 Acciones y efectos de las acciones	47
3.1.4 Determinación de esfuerzos para losa mixta	49
3.1.5 Actuación de cargas puntuales en la losa mixta	53
3.1.6 Fallas en la estructura. Secciones críticas.....	55
3.1.7 Influencia en la utilización de puntales	56

3.1.8 Diseño de vigas principales y secundarias.....	57
3.1.9 Ensayos	58
3.1.10 Diagrama de flujo para el cálculo de un forjado mixto de chapa colaborante.....	59
3.2 Normativa acústica conforme al Documento Básico Protección frente al ruido	60
3.2.1 Factores condicionantes previos	60
3.2.2 Valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo	65
3.2.3 Valores límite de aislamiento acústico a ruido de impacto	67
3.2.4 Estimación del índice de ponderación acústica R_A	67
3.2.5 Realización de un proyecto acústico.....	68
3.3 Comportamiento térmico del forjado colaborante	69
3.3.1 Factores condicionantes previos	69
3.3.2 Demanda energética.....	70
3.3.3 Cerramiento en contacto con el aire exterior	70
3.3.4 Cerramiento en contacto con el terreno	72
3.3.5 Muros en contacto con el terreno.....	73
3.3.6 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables.....	73
4.2 La reforma estructural.....	79
4.2.1 Características generales del edificio.....	80
4.2.2 Comprobación de la resistencia estructural del forjado de chapa colaborante proyectado	85
4.3 Modelización acústica del proyecto del edificio según la rehabilitación planteada para el mismo: Verificación del cumplimiento del DB-HR.	87
4.3.1 Consideraciones previas	87
4.3.2 Elección del software para evaluación del comportamiento acústico	88
4.3.3 Proceso de modelización acústica del proyecto del edificio	90
4.3.4 Soluciones constructivas planteadas en el proyecto de residencia del Penal	93
4.3.5 Resultados obtenidos de la modelización acústica	96
4.4 La reforma térmica.....	99
4.4.1 Exigencias normativas	99
4.4.2 Software URSA	99
4.4.3 Comprobación del aislamiento térmico del proyecto	100
4.4.4 Conclusiones particulares	103
5 Conclusiones	105
5.1 Verificaciones del proyecto	105
5.2 Líneas futuras de actuación en el proyecto	106
6 Bibliografía.....	107

Anexo I: El Hormigón.....	109
Anexo II: Características aceros para armaduras	125
Anexo III: Resistencia a esfuerzo rasante	133
Anexo IV: Factores a tener en cuenta en el aislamiento acústico	135
Anexo V: Cargas de construcción.....	139
Anexo VI: Longitudes mínimas de anclaje en armaduras.....	141
Anexo VII: Conectores y Pernos.....	145
Anexo VIII: Flujograma de trabajo	149
Anexo IX: Zonas climáticas. Valores límite.	151
Anexo X: Plano Antiguos Penal de Cuatro Torres.....	153
Anexo XI: Ficha Técnica del perfil para forjado INCO70.4 Colaborante	159
Anexo XII: Planos Proyecto Residencia de Cuatro Torres	163
Anexo XIII: Variaciones del forjado colaborante	169
Anexo XIV: Ejemplo de cálculo de vigas	171
Anexo XV: Informe de mediciones acústicas en SONarchitct.....	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Forjado unidireccional (tomada de [4]).....	16
Figura 2-2: Forjado bidireccional (tomada de [4]).....	16
Figura 2-3: Transmisión de cargas (tomado de [2]).....	16
Figura 2-4: Monolitismo (tomada de [3])	17
Figura 2-5: Enlazabilidad (tomada de [3])	17
Figura 2-6: Continuidad (tomada de [3])	17
Figura 2-7: Losa alveolar (tomada de [5])	18
Figura 2-8: Prelosas (tomada de [5]).....	18
Figura 2-9: Placa Farlap (tomada de [5])	19
Figura 2-10: Chapa colaborante (tomada de [7])	19
Figura 2-11: Losa maciza armada in situ (tomada de [5])	20
Figura 2-12: Dimensiones de la chapa y la losa del perfil de la chapa (tomada de [7])	21
Figura 2-13: Principales partes de un forjado mixto de chapa colaborante (tomada de [6])	22
Figura 2-14: Perfil trapezoidal (tomada de [7])	23
Figura 2-15: Perfil cola milano (tomada de [7])	23
Figura 2-16: Perfil gran canto (tomada de [7])	23
Figura 2-17: Tipos de engarces más comunes (tomada de [4])	26
Figura 2-18: Almacenamiento (tomada de [9]).....	27
Figura 2-19: Montaje e izado (tomada de [9])	28
Figura 2-20: Chapa grecada como encofrado (tomada de [11])	29
Figura 2-21: Colocación de puntales (tomada de [9]).....	29
Figura 2-22: Fijación con tornillo	30
Figura 2-23: Fijación por disparo.....	30
Figura 2-24: Instalación de conectores (tomada de [11])	31
Figura 2-25: Apoyo sobre estructuras metálicas (tomada de [9]).....	31
Figura 2-26: Remates perimetrales (tomada de [9])	32
Figura 2-27: Armaduras (tomada de [2])	33
Figura 2-28: Esquema de transmisión acústica entre dos recintos (tomada de [14]).....	35
Figura 2-29: Propagación del ruido aéreo (tomada de [10]).....	36
Figura 2-30: Propagación ruido de impacto (tomada de [10]).....	37
Figura 2-31: Características de las propiedades aislantes (tomada de [11]).....	38
Figura 2-32: Puente térmico (tomada de [15]).....	42
Figura 3-1: Comportamiento de una losa mixta (tomada de [7]).....	45

Figura 3-2: Dimensiones de la chapa y la losa (tomada de [5]).....	45
Figura 3-3: Longitudes mínimas de los apoyos (tomada de [5])	46
Figura 3-4: Perímetro cítrico (tomada de [2]).....	50
Figura 3-5: Desarrollo de las fases de esfuerzos rasantes	51
Figura 3-6: Comportamiento del forjado (tomada de [7])	53
Figura 3-7: Distribución de cargas concentradas (tomada de [5])	54
Figura 3-8: Modos de rotura ELU (tomada de [9]).....	55
Figura 3-9: Fallo por deslizamiento longitudinal (tomada de [4]).....	55
Figura 3-10: Detalle constructivo utilizando puntales (tomada de [10])	56
Figura 3-11: Diseño de vigas principales y secundarias (tomada de [2])	57
Figura 3-12: Esquema para la realización de ensayos (tomada de [5])	58
Figura 3-13: Ajuste de los valores obtenidos por una recta (tomada de [10])	59
Figura 3-14: Componente de los elementos de separación horizontal (tomada de [11]).....	61
Figura 3-15: Tipos de ESV (tomada de [11])	62
Figura 3-16: Ejemplo de unidad de uso (tomada de [17])	64
Figura 3-17: Gráfico del tiempo de reverberación (tomada de [14]).....	64
Figura 3-18: Gráfico que muestra la caída del tiempo de reverberación con la absorción (tomada de [14]).....	65
Figura 3-19: Transmitancia térmica máxima en cerramientos y particiones interiores (tomada de [15])	70
Figura 4-1: Vista provincial, situación (tomada de [6]).....	75
Figura 4-2: Situación del Arsenal de la Carraca en relación a la Bahía de Cádiz (tomada de [6]).....	76
Figura 4-3: Situación del Penal de Cuatro Torres en relación al Arsenal de la Carraca (tomada de [6])	76
Figura 4-4: Imagen aérea del Penal en su estado actual (tomada de [6]).....	76
Figura 4-5: Óleo de los últimos días de Miranda en prisión en San Fernando (tomada de [19])	77
Figura 4-6: Fachada principal del antiguo edificio del Penal de Cuatro Torres (tomada de [20])	77
Figura 4-7: Dormitorios antiguo Penal Cuatro Torres (tomada de [20])	78
Figura 4-8: Patio Antiguo Penal Cuatro Torres (tomada de [20])	78
Figura 4-9: Fachada lateral Penal Cuatro torres, apreciación entreplanta (tomada de [20])	79
Figura 4-10: Dimensiones actuales del Penal de Cuatro Torres [20]	79
Figura 4-11: Proyecto, recepción y oficinas de personal	80
Figura 4-12: Cocina y almacén	80
Figura 4-13: Proyecto, comedores	81
Figura 4-14: Proyecto, vestuarios	81
Figura 4-15: Proyecto, cafetería.....	81
Figura 4-16: Proyecto, cuerpo de guardia.....	81

Figura 4-17: Proyecto, gimnasio.....	82
Figura 4-18: Oficinas	82
Figura 4-19: Proyecto, dormitorios entreplanta	82
Figura 4-20: Proyecto, sala de reuniones	83
Figura 4-21: Proyecto, dormitorios primera	83
Figura 4-22: Proyecto, sala informática.....	83
Figura 4-23: Proyecto, sala de conferencias	83
Figura 4-24: Proyecto, biblioteca.....	84
Figura 4-25: Proyecto, oficinas primera planta.....	84
Figura 4-26: Proyecto, torres	84
Figura 4-27: Propiedades estructurales forjado colaborante INCO70.4 de 1mm sin apuntalamiento central (tomada de [10]).....	85
Figura 4-28: Categoría de zona de sobrecarga por uso para proyecto residencial (tomada de [10]).....	85
Figura 4-29: Masa unitaria del forjado (tomada de [10]).....	86
Figura 4-30: Comprobación de la luz máxima del forjado (tomada de [10])	86
Figura 4-31: Solución viga principal	86
Figura 4-32: Aislamiento interior dormitorios colindantes (tomada de [11]).....	87
Figura 4-33: Creación de plantas en SonArchitect	90
Figura 4-34: Ejemplo de visualizado de plantas en SonArchitect	90
Figura 4-35: Asignación de usos en SonArchitect.....	91
Figura 4-36: Distribución de usos específicos SonArchitect.....	91
Figura 4-37: Asignación de huecos en SONarchitect	92
Figura 4-38: Simulación de resultados en SONarchitect	92
Figura 4-39: Aplicación de forjado en SONarchitect	93
Figura 4-40: Asignación de suelos flotantes en SONarchitect	93
Figura 4-41: Designación de cubiertas en SONarchitect.....	94
Figura 4-42: Aplicación e acabados en SONarchitect	94
Figura 4-43: Determinación de particiones con SONarchitect	95
Figura 4-44: Resumen características múltiples separación vertical (tomada de [11])	95
Figura 4-45: Introducción de moquetas en SONarchitect.....	96
Figura 4-46: Ruido aéreo y de impacto entre dos habitaciones en distintas plantas.....	97
Figura 4-47: Aislamiento entre recintos colindantes	97
Figura 4-48: Aislamiento a ruido aéreo exterior	97
Figura 4-49: Aislamiento entre pasillos	98
Figura 4-50: Resolución acústica del Penal de Cuatro Torres	98

Figura 4-51: Ventana de introducción del software de URSA	99
Figura 4-52: Cálculo del coeficiente transmisión térmica en fachadas por URSA	100
Figura 4-53: Calculo del coeficiente de transmisión térmica por cubierta en RSA.....	101
Figura 4-54: Cubierta exterior (tomada de [17]).....	101
Figura 4-55: Ejemplo de aislamiento bajo pavimento URSA (tomada de [17]).....	102
Figura 4-56: Cálculo de aislamiento bajo pavimento URSA.....	102
Figura 4-57: Costes de amortización rehabilitación térmica URSA.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tipos de forjado según la transmisión de cargas (tomado de [4])	16
Tabla 2-2: Configuraciones chapas colaborantes (tomada de [5])	23
Tabla 2-3: Límite elástico del material base f_{yp} para chapas nervadas (tomada de [8]).....	24
Tabla 2-4: Factores a tener en cuenta en el transporte de material	27
Tabla 2-5: Tiempo de permanencia puntal (tomada de [9])	30
Tabla 2-6: Fijaciones (tomada de [9])	30
Tabla 2-7: Fases de construcción de los voladizos (tomada de [9]).....	32
Tabla 2-8: Operación de hormigonado (tomada de [6]).....	34
Tabla 2-9 Esquema de transmisión acústica entre recintos	35
Tabla 2-10: Ruido aéreo y de impacto	37
Tabla 2-11: Transmisión térmica	40
Tabla 2-12: Propiedades del aislamiento térmico (tomada de [15])	41
Tabla 3-1: Valores característicos recomendados para las acciones debidas a las cargas de construcción durante el hormigonado (tomada de [5])	47
Tabla 3-2: Sobrecargas. División de los usos por categorías (tomada de [14])	48
Tabla 3-3: Sobrecargas de uso. Valores característicos (tomada de [14])	49
Tabla 3-4: Relación canto/luz en losas mixtas (tomada de [4])	53
Tabla 3-5: Cálculo del área equivalente para cargas puntuales.....	54
Tabla 3-6: Tipos de recintos por clasificación acústica [11].....	63
Tabla 3-7: Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo en dBA entre un recinto protegido y el exterior (tomada de [11])	66
Tabla 3-8: Valores de la conductividad de los materiales más comunes (tomada de [16])	71
Tabla 3-9: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior (tomada de [15]).....	71
Tabla 3-10: Resistencias térmicas de cámaras de aire (tomada de [15]).....	72
Tabla 3-11: Transmitancia de la solera (tomada de [13])	72
Tabla 3-12: Transmitancia de muros en contacto con el terreno (tomada de [15]).....	73
Tabla 3-13: Resistencia térmicas superficiales para particiones interiores (tomada de [15]).....	73
Tabla 4-1: Distribución nueva planta residencial.....	80
Tabla 4-2: Zonas de aplicación coeficiente térmico (tomada de [18]).....	99

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Problemática

La Amada Española, creada a finales del siglo XV, ha tenido un papel muy importante en la historia de nuestro país; tal función ha dejado huellas imborrables en forma de grandiosas construcciones que actualmente luchan por mantenerse en pie en diferentes zonas, allí donde se encuentran sus bases principales.

El desafío para poder conservar estos edificios como antaño fueron proyectados consiste en vencer una serie de factores estructurales y normativos que deben cumplirse para poder realizar su adecuada revitalización. Algunos de los inconvenientes que se encuentran estas rehabilitaciones pueden citarse: mantenimiento de la fachada y muros originales, necesidad de cambio en techos por el deterioro del forjado, dificultad de acceso a la zona de obras, y cumplimiento de la normativa térmica, acústica y estructural en vigor; y así una lista más amplia de diferentes obstáculos para poder llegar a la meta deseada.

La aplicación de criterios normativos en la rehabilitación es una problemática difícil, ya que alcanzarlos cuando se trabaja sobre edificios ya construidos, guardando la seguridad jurídica, es una tarea que requiere bastante debate. En algunos casos, el propio Código Técnico de la Edificación, indica *mayor adecuación posible* [1]. Así pues, *el objetivo en la rehabilitación será mejorar las prestaciones iniciales para adecuarlo en lo posible a las necesidades que se establezcan, conservando en cualquier caso las condiciones en las que se halle* [1]. No es posible crear una exigencia universal, pues de las características específicas de cada actuación llevan a una solución diferente que respeten el valor histórico de la construcción.

La rehabilitación abarca desde edificios muy protegidos con modificaciones muy vetadas, hasta edificios donde ésta se trataría como obra nueva. Aunque no se soluciona el problema reduciendo las exigencias del CTE, es cierto que han de introducirse criterios flexibles acordes con las características específicas del edificio y tipo de acciones a emprender, determinando las que pueden llevarse a cabo en cada situación para adaptarlas al CTE o para mantener las prestaciones existentes.

Así, la mayor adecuación normativa posible debe determinarse en función de las características del edificio (conservación, valor histórico), y las diferentes posibilidades técnicas, económicas y funcionales.

El CTE, en su Parte I, y en artículos de la Parte II, menciona una serie de términos como ampliación, modificación, reforma o rehabilitación; los cuales no se definen explícitamente y que se tratan de forma conjunta. En este contexto la obligatoriedad de conservar la configuración de un

edificio existente, su estructura, su fachada, o incluso elementos más singulares como escaleras o acabados dificulta la aplicación de ciertos apartados del Código Técnico de Edificación (CTE); como por ejemplo, la accesibilidad o la protección contra el ruido. En particular, la sustitución integral de los elementos de separación horizontal en edificios suele ser problemática por las restricciones en las dimensiones, el posible incremento de carga en la estructura existente y los resultados de protección acústica.

Para ampliaciones se puede llegar a pensar que deberían cumplir como obra nueva ya que no era un edificio existente, esto puede dar a lugar a tener que adaptar partes que ya estaban construidas a la normativa actual.

Respecto al cambio de uso, se entendía solo para documentos de protección contra incendios. El nuevo enfoque, contempla que pueden cambiar algunos requisitos y otros mantenerse. Ahora para cada caso particular se perseguirá el cumplimiento del CTE pero podrán alcanzarse soluciones que no lleguen a la exigencia de este cuando el cambio va a una situación de menor exigencia.

Hablando de reformas, se busca la adecuación proporcional al nivel de intervención y, la flexibilidad para alcanzar el objetivo, debe ser mayor que en el resto de intervenciones. Entran en juego aquí la viabilidad económica y técnica respecto al grado de protección aceptado y la sustitución de elementos que deban cumplir las exigencias individuales. Habrá lógicamente excepciones, sobre todo en los casos que la administración considere especialmente peligrosos y cuando se considere necesario por otros motivos (sostenibilidad, accesibilidad u otros).

Cuando no se alcance lo establecido en la normativa, se debe dejar constancia; así como cuando esta falta lleva a condicionantes de uso y mantenimiento a tener en cuenta. También será necesario considerar y validar las condiciones tradicionales que cumplan frente a ciertas exigencias.

1.2 Objetivos

Actualmente, los forjados de chapa colaborante son cada vez más utilizados en las obras de rehabilitación por su facilidad de ejecución, reducidas dimensiones de canto y buen comportamiento estructural.

Este trabajo pretende evaluar desde un punto de vista estructural, acústico y térmico la posible aplicación de este tipo de forjados en proyectos de reforma y rehabilitación de edificios de la Armada; comportamiento que permitirá demostrar sus esfuerzos por integrar la variable sostenible en su modelo de actuación.

Para ello se desarrollará un ejemplo de rehabilitación en un edificio real que permita obtener las conclusiones relativas al cumplimiento normativo.

Será por tanto necesario definir de forma correcta que es un forjado de estructura colaborante, mostrando las diferentes características que poseen, así como sus cualidades para enfrentarse a la problemática propuesta sobre rehabilitación de edificios si los diferentes elementos que lo forman, y las posibles combinaciones que podemos encontrar para mejorar las características de este producto, e incluso el proceso de ejecución en obra.

1.3 Metodología

Para el desarrollo del trabajo de fin de grado seguirá los siguientes pasos o etapas en la realización del proyecto:

Inicialmente, se definirá de forma general que es un forjado y sus características principales, abordando todos los componentes que los integran. El siguiente paso a proyectar será adentrarse en el forjado objeto de estudio, el forjado mediante chapa colaborante definiendo todos los conceptos asociados al tipo de estructura de la que forma parte. Todo esto se recogerá en el Capítulo 2 del presente trabajo de fin de grado, denominado como Estado del Arte posteriormente.

Posteriormente, se trata el estudio de la normativa térmica, acústica y estructural que se debe seguir. Para ello en el Capítulo 3 (Aspectos Normativos), el trabajo se adentra en el Código Técnico de la edificación; especialmente en los documentos especializados en la familia de las estructuras mixtas como es el Eurocódigo 4, y en los Documentos Básicos DB-HR y DB-HE, de Protección frente al ruido y Ahorro energético. Con esto se pretende caracterizar el proyecto con el correcto cumplimiento de la normativa actual en España.

La siguiente etapa consistirá en una propuesta de aplicación en la armada, en un caso práctico para la visualización del proyecto. Se seleccionará de entre todos los edificios de la Armada que necesiten de rehabilitación, el del Penal de Cuatro Torres en el Arsenal de la Carraca, proponiendo en este un uso eficiente acorde con las necesidades actuales de la zona.

Finalmente, con todos los resultados y propuestas del proyecto, se procederá a la realización de las conclusiones sobre el trabajo y la propuesta de líneas futuras respecto a éste.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 El forjado

Para poder comenzar a evaluar la conveniencia del empleo de los forjados de chapa colaborante, debemos enunciar lo que denominamos genéricamente elemento de separación horizontal; como *separaciones horizontales entre dos pisos o espacios. Independientemente de su misión mecánica estructural, debe cumplir otras funciones como el aislamiento acústico y térmico, la impermeabilidad, y la protección contra el fuego.* [2]

Como regla general posee tres elementos fundamentales:

- Forjado (parte resistente – sustentante)
- Suelo flotante de elemento elástico y capa de mortero (acabado superior)
- Techo (acabado inferior)

2.1.1 Definición y clasificación

Definimos el forjado como un elemento de construcción estructural superficial, generalmente horizontal, que se encarga de recibir y distribuir las cargas de un suelo; además de aislar del ruido, calor, humedad y fuego. [4]

Dentro del forjado entran elementos resistentes y complementarios, quedando excluidos materiales de acabados superficiales. Presenta sobre todo esfuerzos de flexión y corte que transmite a sus muros o vigas, esto se debe a la gran diferencia de superficie con respecto al canto; así los forjados salvan distancias o luces entre los diferentes apoyos, asumiendo las acciones sobre ellos. Son capaces de devolver las reacciones en los extremos, mediante un par interno que se opone a la flexión, y es a través de su propia masa como transporta las acciones de carga.

Para que los materiales aguanten las solicitaciones tensionales y se adapte perfectamente a la superficie, se han utilizado materiales flexorresistentes a lo largo de la historia; así la clasificación principal de los forjados en función de estos ha quedado como:

- Forjado de madera
- Forjado de acero
- Forjado de hormigón

La clasificación convencional acorde con la distribución de los esfuerzos y con el procedimiento de cálculo, con independencia de los sistemas de apoyos y del material constitutivo, es:

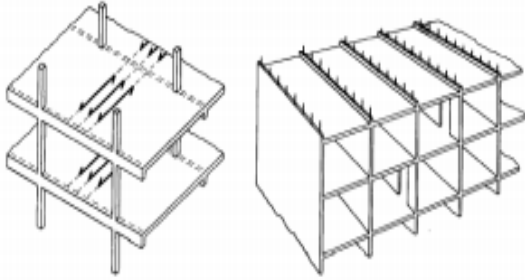
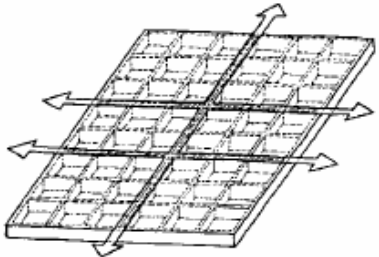
Forjado unidireccional	Forjado bidireccional
Flectan básicamente en una dirección y transmiten las cargas a las vigas, y éstas a los soportes. Una variante muy utilizada en la actualidad son las losas macizas apoyadas en muros, según el sistema «encofrados túnel» o alguno de sus derivados.	Dado que ambas vigas tienen aproximadamente la misma rigidez, la carga se transmite según dos ejes por medio del mecanismo de la flexión. En el caso de una carga puntual, debido a la mutua interpenetración, también las vigas no sometidas directamente a la carga flectan. En consecuencia, se incrementa la resistencia a la flexión.
 Figura 2-1 Forjado unidireccional (tomada de [4])	 Figura 2-2: Forjado bidireccional (tomada de [4])

Tabla 2-1: Tipos de forjado según la transmisión de cargas (tomado de [4])

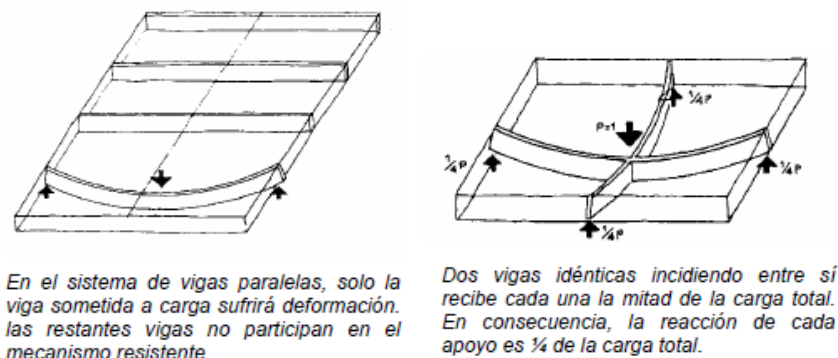


Figura 2-3: Transmisión de cargas (tomado de [2])

2.1.2 Características de los forjados

Dado que se trata de elementos unidireccionales, cualquier tipo de forjado debe cumplir con estas tres propiedades para poder asumir las sollicitaciones estructurales resistentes a cargas y cumplir sus cometidos de arriostramiento.

a) Monolitismo:

Es la resistencia en el plano del forjado a acciones horizontales. Esta característica no está presente en los forjados de viguetas simplemente apoyadas (de madera, acero, hormigón), para conseguirla se

terminarán hormigonando los nervios y/o los senos adyacentes a las viguetas y unidos a una losa continua, de espesor mínimo 4 cm, según la Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE), que correrá por encima de todo el elemento de forjado y estará ejecutada con un determinado tipo de hormigón y con armadura equivalente a este.

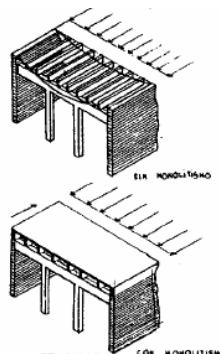


Figura 2-4: Monolitismo (tomada de [3])

b) Enlazabilidad:

Capacidad de unión efectiva a muros o vigas de apoyos de los forjados construidos. Todo forjado al que se le exija el desempeño de funciones como pantallas y diafragmas en estructuras de hormigón armado, se empotrará en las jácenas en las que se sustenta, y obligatoriamente existirán vigas de borde alrededor de todo el perímetro. Todo forjado enlazará en los muros en que se sustenta, y con los transversales, mediante cadenas; sólo se permite incluir viguetas o nervios en obras de reforma cuando no sea posible construir la cadena. Estas cadenas, además de servir de enlace entre forjados y muros, están sometidas a flexión y cortadura, por diferencias de asentos u otras causas, y a tracción por acciones de viento o sísmicas, que se calcularán cuando sea preciso.

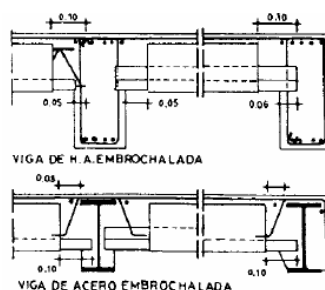


Figura 2-5: Enlazabilidad (tomada de [3])

c) Continuidad:

Resistencia a momentos negativos en los apoyos intermedios. Esta característica no es imprescindible a los fines de arriostramiento, pero es muy conveniente y además presenta ventajas económicas. En los forjados que reúnen las dos primeras, monolitismo y enlazabilidad, si se proyectan debidamente, debe considerarse siempre en ellos la continuidad.

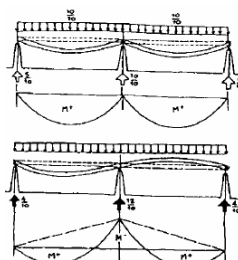


Figura 2-6: Continuidad (tomada de [3])

2.1.3 Tipos de forjado

A continuación se describirán de forma breve los principales tipos de forjados que existen en el mercado, mostrando sus principales características.

a) Forjados prefabricados:

El forjado es construido en una fábrica, fuera del lugar de ejecución en obra, para llegar a su posición final después de un montaje simple, sencillo y con menor tiempo de trabajo. Se distinguen los siguientes:

Losa alveolar



Figura 2-7: Losa alveolar (tomada de [5])

Es unidireccional, constituido por piezas grandes y pesadas que suelen poseer una anchura de 2.40 m. Las longitudes alcanzadas son más variables pudiendo superar los 30 m y la relación canto/luz suele oscilar entre 1/25 y 1/30. Las piezas tienen 2 caras planas (aportan mayor inercia que permite alcanzar mayores luces) y dos con perforaciones longitudinales (permiten aligerar el peso propio de la losa). Las placas se solidarizan posteriormente vertiendo hormigón en un receptáculo entre los bordes de las placas, quedando garantizada la transmisión de las cargas transversales. Se dispone una capa de compresión en obra de espesores variables donde se aloja un mallazo de acero corrugado. Se utilizan en grandes sobrecargas y/o luces, para construcción modulada, obra civil, forjados inclinados y verticales...

Prelosas



Figura 2-8: Prelousas (tomada de [5])

Lámina de hormigón reforzado con aceros corrugados, así como de celosías que forman la armadura de las vigas y de bovedillas de poliestireno expandido. Una vez instalada, servirá de encofrado perdido con resistencia que da total seguridad a la hora de desplazarse sobre ella. Superficie vista plana y lisa; insertando elementos necesarios sin necesidad de falso techo. Su objetivo es presentar las mismas propiedades de la placa alveolar pero aligerándola al máximo; además, los alveolos de poliestireno dan resistencia térmica. El espesor suele venir fijado por razones de recubrimiento de armaduras y manejo y transporte y, a veces, por limitación de la distancia entre sopandas. El canto más típico es de 26 cm, con un peso igual al de las clásicas viguetas y bovedillas a las que sustituye. Se suele fabricar con anchos de 1.2 m y 0.6 m con longitudes autoportantes hasta 7 m. Aplicación similar a la placa alveolar.

Placa Farlap



Figura 2-9: Placa Farlap (tomada de [5])

Placa machihembrada y autoportante de canto variable formada por dos nervios de hormigón armado en forma de doble T unido por una pieza de poliestireno expandido a la que se añade en obra la capa de compresión. Su peso es de 91 kg/m^2 aproximadamente y se elabora en anchos de 1,2 m y 0,6 m. El apoyo puede ser plano, entrega contra encofrados realizados en obra; con salientes, para entrega contra muros; o con salientes con encaste en su parte inferior para conseguir un forjado plano. Está especialmente indicada para viviendas y además permite la eliminación del zuncho de borde o de hueco de escaleras; también se usa para viviendas de altura puesto que aligera y ahorra en la estructura al reducir los pilares, vigas y cimentaciones y es de fácil maniobrabilidad. Finalmente, asimismo es indicado para forjados sanitarios o cubiertas inclinadas por el aislamiento térmico que ofrece.

Forjado de Chapa Colaborante

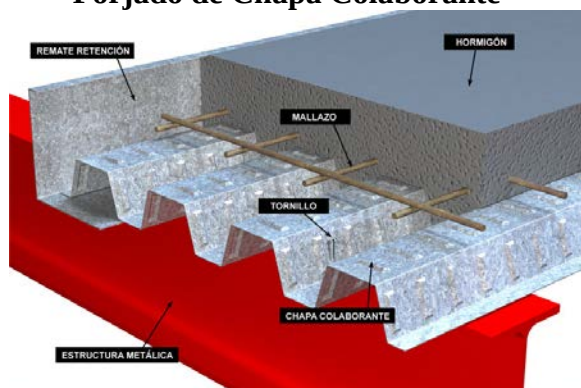


Figura 2-10: Chapa colaborante (tomada de [7])

También se encuentra en esta categoría el forjado que constituye el presente estudio, por tanto lo describiremos con el mayor detalle posteriormente.

b) Forjado In situ:

Es una estructura plana y rígida de hormigón, proyectada para resistir las fuerzas aplicadas trabajando conjuntamente con las armaduras principales y secundarias. Se denomina así porque los nervios o viguetas in situ son ejecutados en la obra. También se le denomina forjado no resistente, ya que no posee característica mecánica alguna durante su construcción.

A su vez, es del tipo losa nervada ya que está constituido por nervios armados en una sola dirección. Entre estos nervios armados se dispone una losa delgada, la cual descansa sobre elementos aligerantes, tomando así el nombre de losa aligerada. Los elementos aligerantes empleados son bovedillas de hormigón o arcilla expandida con lo que se consigue que el intradós sea plano. Las losas son estructuras superficiales, planas, que trabajan a torsión y flexión en dos direcciones por sus condiciones de apoyo y disposición de armadura; poseen la ventaja de su gran simplicidad pero un peso propio muy elevado, por eso la necesidad de aligerantes. Requieren siempre de un encofrado completo.

La capacidad mecánica y resistente de la placa la asume todo el conjunto y no una parte, adquiriendo la responsabilidad de enfrentarse a los esfuerzos de flexión, torsión y cortante que se desarrollan dentro del esquema estructural.

Los parámetros básicos que definen las características del forjado reticular son:

- Canto total de la placa.
- Altura del casetón de aligeramiento o bloques aligerantes.
- Separación entre ejes de nervios.
- Espesor básico de los nervios.
- Espesor de la capa de compresión.



Figura 2-11: Losa maciza armada in situ (tomada de [5])

El forjado in situ ha adquirido mayor tradición de uso que los prefabricados, puesto que deriva directamente de los primeros forjados usados (de viguetas y bovedillas).

Las losas macizas y aligeradas serán siempre una solución razonable para cualquier tipo de obra, ofreciendo mayores facilidades cuanto más dificultosa sea la geometría o el número de plantas. Así, podemos llegar a grandes luces en todo tipo de edificios, pero sin poder ofrecer una colocación tan rápida e industrializada como los prefabricados.

2.2 El forjado colaborante

2.2.1 Definición del forjado colaborante

El forjado colaborante se define como un forjado mixto; un elemento estructural compuesto de hormigón y de acero, conectados de forma que se limite el deslizamiento y la separación entre ellos. La resistencia y rigidez del compuesto deberá permitir que los dos componentes se calculen como partes de un único elemento estructural; esto es lo que destaca esta tecnología respecto otras. [5]

La colaboración entre los dos materiales presentes para hacer frente a las tensiones producidas por las cargas se realiza a través de las indentaciones del perfil de acero galvanizado; ya que la adhesión química por sí sola no es suficiente. Generalmente se utiliza una placa grecada de acero (aunque puede estar formada por otro tipo de ondulación), 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. Además, esta chapa servirá de plataforma de trabajo durante el montaje de encofrado y de armadura inferior después del endurecimiento del hormigón, ya que debe tener una resistencia y rigidez suficiente. Algunas variaciones del forjado colaborante vienen recogidas en el Anexo

Los forjados mixtos de estructura colaborante están apoyados normalmente en un entramado de vigas metálicas, por lo que se requiere una conexión adecuada entre ellos mediante conectores que impida los deslizamientos. La soldadura de estas uniones presenta una serie de dificultades tanto de equipos como ambientales, por lo que se han desarrollado conectores mecánicos mediante clavos. Este tipo de conexión es adecuado particularmente para las aplicaciones con chapas grecadas ya que su fijación a través de éstas se puede realizar sin dificultades.

Normalmente, los forjados mixtos cuentan con chapas continuas sobre las vigas metálicas, por lo que suelen ser continuos sobre varios vanos y requieren de una armadura superior de refuerzo para resistir los momentos negativos.

La figura 2-14 muestra el dimensionado de dos ejemplos de chapa para forjado colaborante:

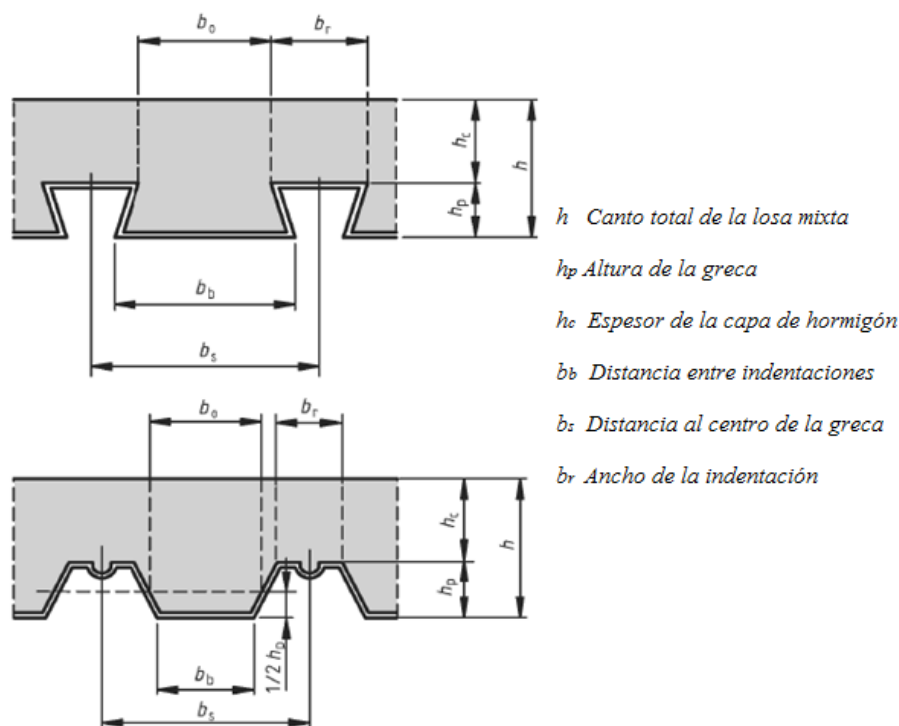


Figura 2-12: Dimensiones de la chapa y la losa del perfil de la chapa (tomada de [7])

2.2.2 Componentes del forjado colaborante

Los materiales utilizados en los forjados mixtos son generalmente similares a la construcción ordinaria, por lo cual deben tenerse en cuenta las recomendaciones y normas previstas para los mismos. A continuación se efectúa una presentación de los principales materiales y sus características, susceptibles de empleo sistemático, en la que se matizan y destacan los aspectos primordiales:

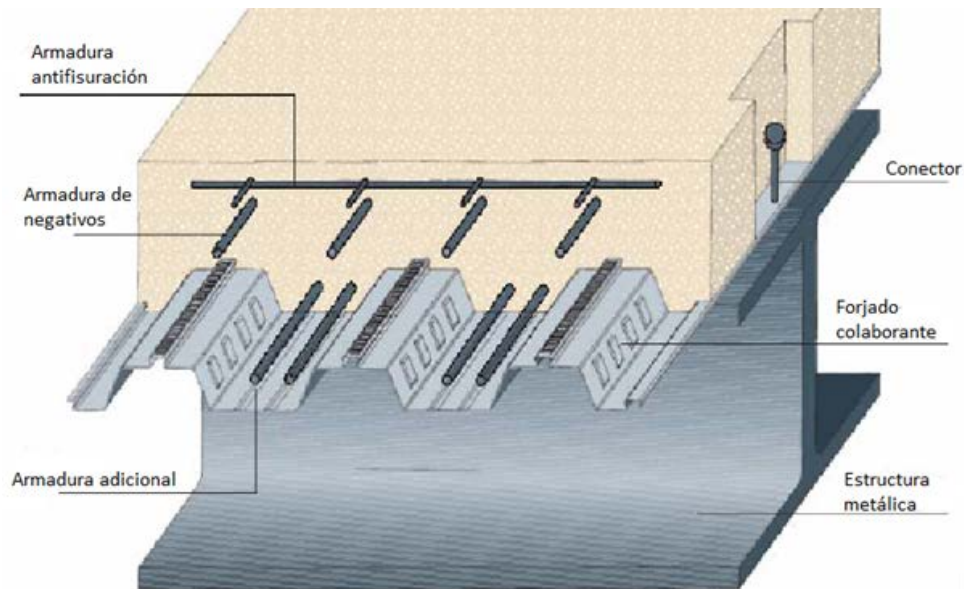


Figura 2-13: Principales partes de un forjado mixto de chapa colaborante (tomada de [6])

2.2.2.1 Las chapas de acero

Las chapas grecadas, constituyen el principal elemento en un forjado colaborante, dadas las diferentes funciones que este debe poder desempeñar. En la actualidad existe una gran variedad, que se diferencian por la forma, el canto, la separación de las grecas, el ancho, el tipo de solape, la rigidez y las indentaciones que aseguran la cohesión, y todas son aptas para ser utilizadas en este tipo de soluciones.

Las chapas poseen diferentes aspectos, siendo éstos primordiales para lograr una buena capacidad resistente a tensiones rasantes. Según la configuración diferenciamos tres tipos, como se recogen en la tabla 2-2. Los más utilizados son los trapezoidales y los de cola de milano, ya que los perfiles de gran canto ni siquiera se recogen en el Eurocódigo 4.

En líneas generales se suele aconsejar los perfiles de cola de milano ya que consiguen un mejor agarre con el hormigón y soporta mejor los esfuerzos rasantes; aunque la realidad es que los perfiles trapezoidales son muy comunes en la construcción en la actualidad y presentan durante el hormigonado, una distribución más homogénea del producto.

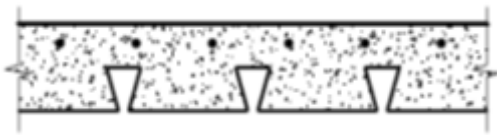
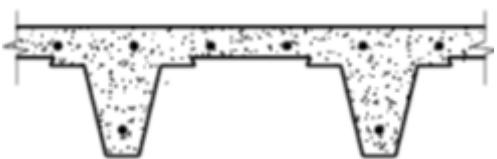
Principales características de las chapas para forjado colaborante				
Configuración	Long. Vano (m)	Canto perfil (mm)	Canto losa (mm)	Espesor (mm)
Trapezoidales  Figura 2-14: Perfil trapezoidal (tomada de [7])	2 - 3.5	35 - 50	100 - 180	0.75 – 1.5
Cola de Milano  Figura 2-15: Perfil cola milano (tomada de [7])	2.5 - 4.5	45 - 80	110 - 180	
De gran canto  Figura 2-16: Perfil gran canto (tomada de [7])	4.5 - 8.5	200 - 225	280 - 350	

Tabla 2-2: Configuraciones chapas colaborantes (tomada de [5])

2.2.2.2 El Hormigón

Mezcla íntima y homogénea de áridos finos, áridos gruesos, un aglomerante (generalmente cemento) y agua en las debidas proporciones para que fragüe y endurezca. En el momento de su amasado pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar alguna de sus propiedades. [7]

En el Anexo I vienen recogidas todas las características del hormigón, con sus componentes principales desglosados. Uno de los componentes más importantes del hormigón son las armaduras, las cuales le proporcionan las cualidades necesarias para poder formar parte de diferentes forjados; no se puede estudiar uno sin el otro. Existen principalmente dos tipos de armaduras:

a) Armaduras pasivas:

Se entiende por armadura pasiva el resultado de montar, en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, armaduras elaboradas o ferrallas armadas que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural. [7]

b) Armaduras activas:

Se denominan armaduras activas a las disposiciones de elementos de acero de alta resistencia mediante las cuales se introduce la fuerza del pretensado en la estructura. Pueden estar constituidos a partir de alambres, barras o cordones. En el caso de armaduras activas postensadas, sólo podrán utilizarse los sistemas de pretensado que cumplan los requisitos establecidos en el documento de idoneidad técnica europeo. [7]

2.2.2.3 Aceros

Las siguientes normativas recogen los tipos de acero aplicables a los forjados mixtos, siendo aplicables sus criterios a las chapas nervadas:

- Aceros de bajo contenido en carbono (dulce), según EN 10025.
- Aceros de alta resistencia, según EN 10113.
- Aceros laminados en frío, según ISO 4997: 1978.
- Aceros galvanizados, según EN 10147.

Norma	Tipo de acero	f_{yp} (N/mm ²)
EN 10025	S235	235
	S275	275
	S355	355
prEN 10113 Parte 2	S275	275
	S355	355
	S460	460
prEN 10113 Parte 3	S275	275
	S355	355
	S420	420
	S460	460
ISO 4997	CR220	220
	CR250	250
	CR320	320
prEN 10147	Fe E 220 G	220
	Fe E 250 G	250
	Fe E 280 G	280
	Fe E 320 G	320
	Fe E 350 G	350

Tabla 2-3: Límite elástico del material base f_{yp} para chapas nervadas (tomada de [8])

La bobina de acero galvanizado es el material base del perfil de chapa colaborante y debe soportar las deformaciones y embuticiones propias del perfilado. Además, la propiedad de elemento estructural de un forjado obliga a que el material base de la bobina sea un acero de construcción según la norma EN-10147.

En la tabla 2-3 se pueden observar los diferentes grados del acero, en función de las diferentes normativas y las calidades de los mismos. Las superficies exteriores de las chapas estarán protegidas frente a condiciones atmosféricas que deban soportar. En ambientes interiores no agresivos, un revestimiento de cinc con masa total 275 g/m² (en las dos caras), equivalente a 0,02 mm por cara, generalmente es suficiente. No deben utilizarse protecciones distintas del galvanizado, salvo que se hayan verificado mediante ensayos.

La chapa perfilada se conforma en frío, mediante una bobina de acero galvanizado que pasa a través de varios rodillos, produciéndole un progresivo y sucesivo conformado. Este proceso provoca un endurecimiento debido a la deformación del acero, que produce un aumento de la resistencia característica media de la sección. Generalmente una bobina de grado S235 (es decir, con un límite elástico de 235 N/mm²), presenta un límite elástico de aproximadamente 300 N/mm² tras el conformado.

2.2.3 Funcionalidad del forjado colaborante

Los forjados colaborante constituyen una solución competitiva para un gran número de aplicaciones. A continuación se detallan sus principales ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Actúa como plataforma de trabajo y como encofrado durante la construcción, ejerciendo funciones de seguridad y protección contra la caída de objetos.
- Estabiliza el marco de la estructura metálica, disminuyendo la necesidad de arriostramientos horizontales.
- Soporta las cargas durante el hormigonado, aunque en determinados casos de luz y canto es necesario apuntalar.
- Facilita la circulación en los pisos durante la ejecución de los forjados, al no requerir la densidad de apuntalamiento necesaria con un encofrado convencional.
- El perfil metálico reemplaza total o parcialmente a las habituales armaduras de tracción de una losa.
- La utilización del forjado colaborante con conectores, permite formar una viga mixta. Esto se traduce en una importante reducción del canto del forjado y en consecuencia del peso de la perfilería metálica que soporta la losa y de la estructura y cimentaciones del edificio en general.
- Las nervaduras de la chapa permiten instalaciones y canalizaciones del edificio en su interior.
- Se trata de un sistema constructivo de elevada economía y rapidez de ejecución; facilitando a su vez un óptimo almacenamiento en la obra.
- No contamina otros materiales y proporciona a la obra mayor limpieza de la zona.
- De estética atractiva, en algunas estructuras puede dejarse visto, siendo de mantenimiento fácil y durable.
- Tiene aplicación para la formación de zancas, descansillos y escaleras.
- Para edificios en altura es posible avanzar rápidamente con el montaje de la estructura sin necesidad de hormigonar los forjados, simplemente fijando el perfil a las vigas. Este absorbe una parte importante del arriostramiento de la estructura.

Inconvenientes:

- Se trata de un sistema de forjado muy específico adaptable muy bien a estructuras mixtas o metálicas presentando una mayor dificultad en otros tipos.
- A menudo, la resistencia última de un forjado mixto de chapa colaborante viene determinada por la resistencia de la conexión acero-hormigón frente a los esfuerzos rasantes por lo que las luces que se pueden salvar de manera económica son más bien reducidas. Tiene limitada generalmente sus luces hasta el entorno de los 5 metros en estos momentos, salvo aplicaciones muy particulares.
- Es necesario utilizar personal especializado para el montaje del mismo, debiendo cuidar mucho las condiciones de limpieza.
- Deben existir planos de montaje, pues no permite habitualmente la improvisación.
- La conexión entre chapa y hormigón no queda asegurada en caso de acciones dinámicas.
- En ausencia de revestimientos específicos o de falsos techos, la resistencia de los forjados mixtos de chapa colaborante en caso de incendio resulta relativamente modesta.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, este forjado está especialmente diseñado para instalarlo sobre estructuras metálicas; no obstante se puede utilizar igualmente sobre estructuras de hormigón, madera o mampostería, siempre que se cumplan las condiciones de fijación y solape adecuadas, admitiendo un amplio rango de aplicaciones: Viviendas, edificios industriales, aparcamientos, oficinas, edificios públicos, centros comerciales y de ocio, almacenes, polideportivos...

2.2.4 Tipos de engarce más comunes

La chapa de acero nervada debe ser capaz de transmitir tensiones rasantes en la superficie de contacto entre chapa y hormigón; la mera adherencia entre la chapa de acero y el hormigón no se considera eficaz para la acción mixta. El comportamiento mixto entre la chapa nervada y el hormigón se debe asegurar por medio de uno o varios de los siguientes procedimientos

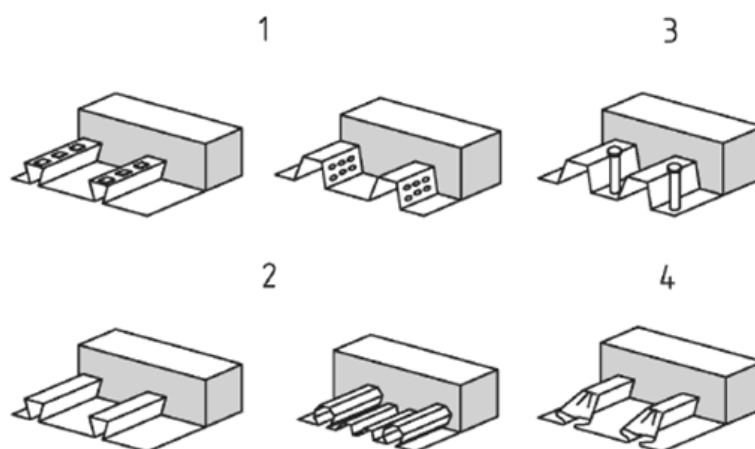


Figura 2-17: Tipos de engarces más comunes (tomada de [4])

- Engarce mecánico proporcionado por las deformaciones en el perfil (muescas o resaltos)
- Engarce por rozamiento para perfiles con almas de los nervios formando un ángulo agudo con la chapa base.
- Anclaje extremo proporcionado por pernos soldados u otro tipo de conexión local entre el hormigón y la chapa de acero.
- Anclaje extremo por deformación de los nervios al final de la chapa.

No se excluyen otros procedimientos, pero están fuera del campo de aplicación de esta norma. (Eurocódigo 4)

2.2.5 Puesta en obra del forjado colaborante

A continuación, se detallan los diferentes pasos para la ejecución en obra del forjado de chapa colaborante; para ellos utilizaremos las explicaciones que vienen recogidas según *Ingeniería y Construcción del Perfil S.A.* [9], empresa especializada en este tipo de forjados.

2.2.5.1 Empaque, Transporte, Recepción y Descarga

Las chapas se emban y empaquetan en bultos cuyo peso se halla en torno a las 4,5 toneladas. Los paquetes se ajustarán a las necesidades de obra, siendo habitual paquetes de 20 chapas y longitud máxima 14 metros.

Factores a tener en cuenta	Características
Peso	En función de los m ² de perfil de chapa colaborante
Limitaciones	- Longitud del transporte - Acceso a la obra - Peso de cada paquete (descarga e izado) - Manipulación en la instalación
Etiqueta de identificación	- Nombre del fabricante - N° pedido y destino - Nombre del cliente y obra - Descripción del producto - N° de chapas y longitud del paquete - Peso del paquete

Tabla 2-4: Factores a tener en cuenta en el transporte de material

2.2.5.2 Almacenamiento y protección de los embalajes de las chapas

Deben de tomarse las siguientes medidas en consideración:

- Protección de los paquetes de la humedad por condensación superficial o lluvia, depositándolos en una zona cubierta o protegiéndolos con lonas ventiladas.
- Los embalajes no deben de estar en contacto directo sobre el suelo, sino que deberán depositarse sobre tacos de madera dándole inclinación para la evacuación de agua si la hubiese.

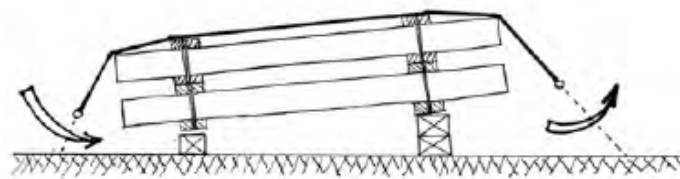


Figura 2-18: Almacenamiento (tomada de [9])

2.2.5.3 Manejo e Izado

Para su elevación se utilizarán eslingas de lona con protección anticorte, balancines, cantoneras... para evitar daños a la chapa durante su descarga o elevación, asegurándose que los paquetes queden firmemente apretados para evitar un posible corrimiento de las eslingas o del propio paquete.

Los paquetes se depositarán sobre las vigas principales de la estructura, orientándolos en el sentido de su montaje y siempre bajo las instrucciones de la dirección de obra.

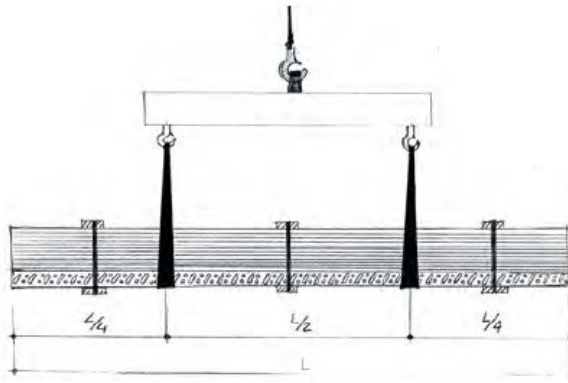


Figura 2-19: Montaje e izado (tomada de [9])

2.2.5.4 Montaje en Obra

Se cumplirá con la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, principalmente podemos destacar:

- Se deberá colocar una protección total a base de redes (obligatoria a partir de 2 m) por debajo de la estructura y barandillas perimetrales contra el riesgo de caída de personas.
- Se utilizarán cinturones de seguridad y equipos de protección individual en función de los riesgos (botas, guantes, casco, gafas de protección y ropa adecuada)
- Durante la colocación de las chapas no se realizarán trabajos simultáneos en las plantas inferior o superior.
- Antes del vertido del hormigón, se limpiarán de suciedad la superficie de contacto con las chapas y la estructura, debiendo de estar protegida esta contra oxidación.
- Durante las operaciones de corte la zona deberá quedar protegida de limaduras y rebabas y el revestimiento de protección deberá quedar protegido mediante la aplicación de una pintura rica en Zinc.

2.2.5.5 Encofrado

El encofrado es el armazón formado por un conjunto de planchas metálicas o de madera convenientemente dispuestas para recibir el hormigón que, al endurecerse, forma las paredes y suelos de los edificios contruidos con este material. En el caso del forjado colaborante, la chapa de acero desarrollará esta función antes del endurecimiento del hormigón, cumpliendo una serie de condiciones:

- Perfecta alineación de las placas.
- Los solapes longitudinales estarán perfectamente sellados (es aconsejable unirlos mediante un tornillo aproximadamente cada 75 cm.)
- Utilización de remates perimetrales o para pastas.
- No se dejarán huecos por donde pueda escapar el hormigón al verterlo, se utilizarán juntas estanca especialmente diseñadas para ello.



Figura 2-20: Chapa grecada como encofrado (tomada de [11])

- El perfil en la fase de vertido del hormigón soporta su Peso Propio + el Peso del Hormigón + Peso Armaduras, así como las cargas de ejecución que establece el Eurocódigo 4.

- Se evitarán las cargas puntuales debidas a:

- Agrupación de personas en una misma zona.
- Vertido del hormigón desde una altura superior a 30 cm.
- Se evitará que cualquier carga descansa directamente sobre la chapa, disponiendo de listones de un espesor suficiente.
- Acumulación de material.

2.2.5.6 Apuntalamiento

Se entiende por apuntalamiento la colocación de apoyos intermedios para reducir temporalmente la distancia entre apoyos durante las fases de vertido y fraguado del hormigón.

Los puntales se colocarán una vez instaladas y fijadas las chapas. El criterio de apuntalamiento por planta seguirá el orden de ejecución, de la planta inferior a la superior, y nunca dejando ninguna planta intermedia sin apuntalar. Cuando se retiren los puntales se seguirá el orden inverso y siempre bajo las instrucciones de la dirección facultativa. Por regla general se colocarán los puntales a un 1/2 de la luz del vano en caso de que sea un puntal, 1/3 y 2/3 de la luz del vano en caso de dos puntales por vano.



Figura 2-21: Colocación de puntales (tomada de [9])

Los puntales no se retirarán hasta los 28 días, el plazo de retirada depende de la evolución del endurecimiento del hormigón y por consiguiente, del tipo de cemento, de la temperatura ambiente, etc. En la siguiente tabla se dan unas cifras indicativas, válidas para el cemento Portland ordinario y unas condiciones medias de evolución del endurecimiento, de acuerdo con la Instrucción Española.

Cuando no se posea de experiencia de casos análogos, para fijar plazos de desencofrado y descimbrado conviene proceder a ensayos de información, o adoptar el mayor tiempo de desencofrado.

Temperatura superficial del hormigón (°C)	> 24°C	16°C	8°C	2°C
Losas (puntales)	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas (puntales)	10 días	13 días	18 días	28 días

Tabla 2-5: Tiempo de permanencia puntal (tomada de [9])

2.2.5.7 Instalación de fijaciones

Una vez colocada la chapa, se procederá a su fijación sobre la estructura principal para que queden enlazados ambos elementos. Estas fijaciones cumplen únicamente una función de sujeción frente a levantamientos por el viento, no pudiendo ser consideradas una conexión viga-losa. En el siguiente cuadro podemos apreciar las uniones más usadas:

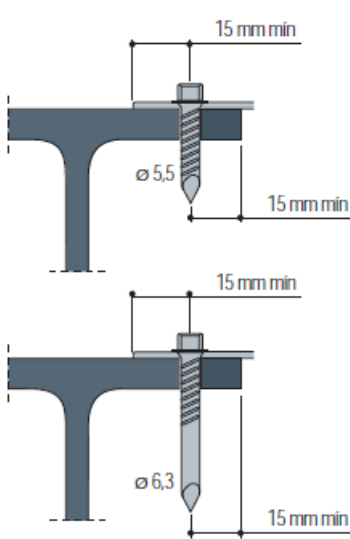
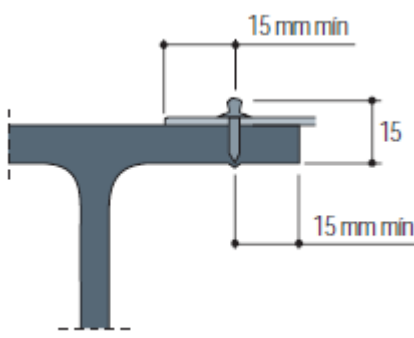
Fijaciones	
- Tornillos para roscar:  Figura 2-22: Fijación con tornillo	- Clavos por medio de disparo.  Figura 2-23: Fijación por disparo

Tabla 2-6: Fijaciones (tomada de [9])

2.2.5.8 Conectores

Esta unión hace colaborar el forjado de chapa colaborante con la viga de apoyo; destaca por su facilidad de puesta en obra y utilización bajo cualquier condición climática. La superficie de la chapa deberá estar limpia y la cara superior de la viga sin pintar y libre de virutas. Existen los siguientes tipos:

- Conector soldado directamente a la viga: Es aconsejable cuando se trate de pernos de gran diámetro, tiene el inconveniente que la chapa deberá montarse en tramos simples.
- Conectores de tipo HILTI o similar: la fijación se realiza mediante clavos disparados por pistola.
- Pernos soldados a través de la chapa en obra mediante grupos de soldadura adecuados.

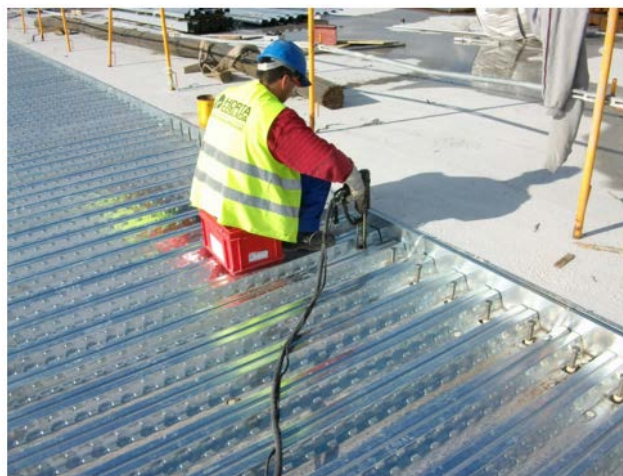


Figura 2-24: Instalación de conectores (tomada de [11])

2.2.5.9 Instalación de apoyos

Las losas mixtas que se apoyan en acero u hormigón deben poseer un apoyo mínimo que oscila entre 50 y 75 mm en el caso de las chapas extremas o superpuestas (b) y (c). En el apoyo intermedio y para chapas colocadas a testa, el apoyo mínimo será de 100 mm (a).

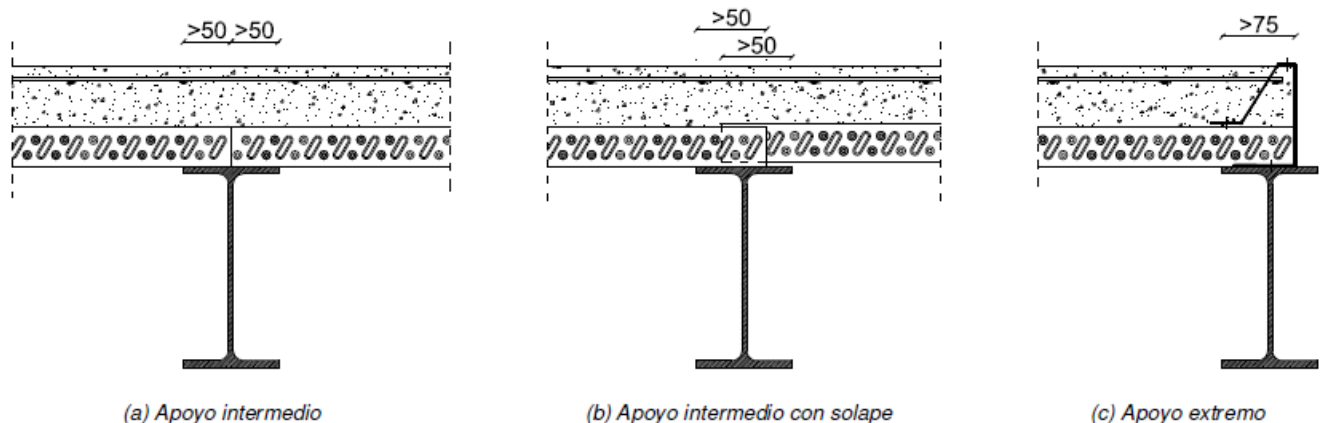


Figura 2-25: Apoyo sobre estructuras metálicas (tomada de [9])

Para losas mixtas que se apoyan en otros materiales, estos valores deben incrementarse a un apoyo mínimo que oscila entre 75 y 100 mm en el caso de las chapas extremas o superpuestas (b) y (c). En el apoyo intermedio y para chapas colocadas a testa, el apoyo mínimo será de 150 mm respectivamente.

Pueden reducirse los apoyos mínimos dados anteriormente si así se especifica en el proyecto y si el diseño tiene en cuenta factores importantes tales como las tolerancias, cargas, luz, altura del apoyo y armadura de continuidad necesaria. Si se emplean apoyos reducidos, deben adoptarse precauciones de forma que la chapa se sujete sin ocasionar daños a los apoyos y para que no suceda un colapso como resultado de desplazamientos accidentales durante el montaje.

2.2.5.10 Voladizos

Cuando existan partes del forjado que se prolongan horizontalmente o inclinadamente más allá del elemento que lo soporta, generalmente una pared, tenemos un voladizo, y se han de considerar dos fases diferentes en la puesta en obra:

Fases	Construcción	La chapa en voladizo en la dirección de los nervios es capaz de soportar un voladizo máximo de 500 mm sin necesidad de apuntalamiento, quedando el remate perimetral fijado a los nervios. Se debe tomar la precaución de que en la fase de ejecución no se circule por los voladizos. La chapa en voladizo en la dirección perpendicular a los nervios, los remates perimetrales se deberán fijar a las prolongaciones de las vigas principales.
	Fase mixta	En esta fase la chapa no actúa en la absorción de los esfuerzos en el voladizo, y el elemento que actúa es la armadura de negativos, resultado del cálculo del forjado.

Tabla 2-7: Fases de construcción de los voladizos (tomada de [9])

2.2.5.11 Ejecución de remates perimetrales del forjado

Estos remates están fabricados a partir de chapa galvanizada y su espesor mínimo aproximado será de 1mm. Los remates perimetrales se colocan en los bordes del forjado y huecos interiores, y actúan como molde de contención del hormigón.

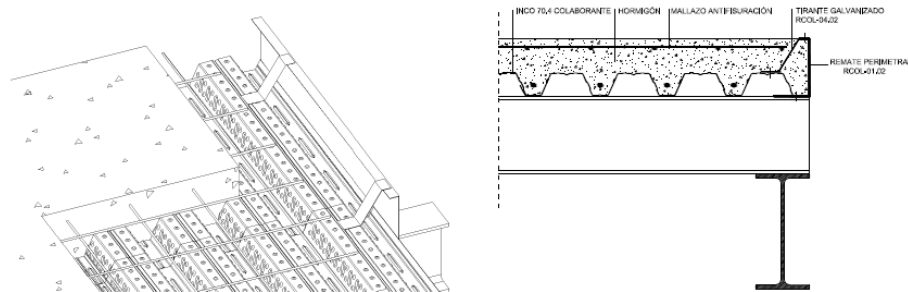


Figura 2-26: Remates perimetrales (tomada de [9])

Tales remates se fijarán directamente a la estructura, a la vez que se fija la chapa. Preferentemente la forma del remate debe de ser un ángulo de la misma altura del forjado, rigidizado en el borde superior. Debe evitarse que el empuje debido al vertido del hormigón nos deforme el ángulo.

2.2.5.12 Ejecución de huecos

Es aconsejable que sea conocido con anterioridad a la ejecución del forjado la dimensión y el número de huecos, evitando la demolición una vez fraguado el hormigón, ya que esto podría producir la pérdida de conexión chapa-hormigón. En ningún caso se deberá demoler con útiles de percusión.

Los huecos pequeños se pueden realizar utilizando encofrados interiores con placa de poliestireno con la forma grecada del perfil, posteriormente, una vez haya fraguado el hormigón o haya adquirido la resistencia suficiente, éstos se retirarán y se cortará la chapa, protegiendo los bordes con pintura rica en zinc. Este sistema tiene la ventaja que la chapa soporta las cargas durante el hormigonado sin necesidad de puntales. Los huecos superiores a 200x200 mm precisan de armaduras de refuerzo adicionales en la losa y los mayores de 600x600 mm necesitan estructura adicional.

2.2.5.13 Instalación de las armaduras

Las armaduras de los forjados colaborantes están formadas de mallazos y armaduras de refuerzo.

Las armaduras de la losa de poco espesor se colocarán a una distancia de 20 mm de la parte superior. Todas las armaduras adicionales, en caso de ser necesarias, se colocarán según proyecto. Éstas estarán dispuestas correctamente, de forma que no se produzcan desplazamientos o hundimientos superiores a 10 mm durante el hormigonado. Se recomienda la utilización de apoyos puntuales, bucles de acero, hormigón... Nunca elementos corridos que favorecerían la aparición de las grietas en el forjado.

Se diferencian los siguientes tipos de armadura:

- Antifisuración: Es aconsejable que el mallazo antifisuración mantenga la misma separación en ambas direcciones para garantizar su correcta colocación en obra. En algunos casos estas armaduras estarán capacitadas para absorber los esfuerzos de momentos negativos si están correctamente dimensionadas. Estas armaduras cubrirán toda la superficie del forjado.

- Armadura de negativos: Son producto del resultado del cálculo y se colocan en los apoyos intermedios, así como en la zona de voladizos.

- Armadura de positivos: Pueden precisarse armaduras adicionales para mejorar la resistencia al fuego del forjado. Estas se colocan situadas en los valles de cada una de las ondas del perfil, y en toda su longitud. La sección de la armadura requerida será la indicada en el cálculo y dependerá de la resistencia al fuego solicitada. Aumentará la resistencia final del forjado en cuanto a esfuerzo rasante (flexión).

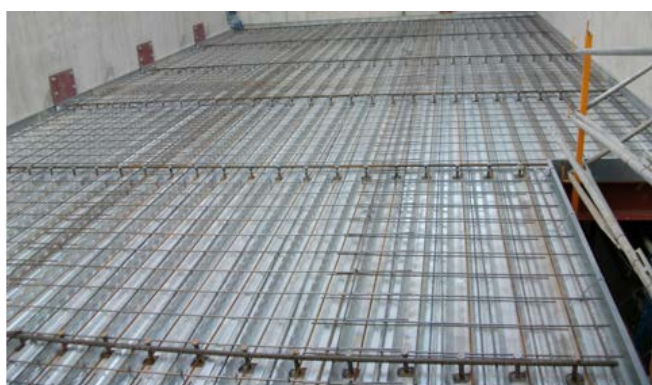


Figura 2-27: Armaduras (tomada de [2])

2.2.5.14 Hormigonado

Para definir esta fase definiremos tanto el transporte como la operación en sí misma.

a) Condiciones durante el transporte del hormigón:

- Durante el transporte no debe segregarse los áridos, lo que provocaría en el hormigón, pérdidas de homogeneidad y resistencia.
- Deben evitarse las vibraciones y choques, así como el exceso de agua, que favorecen la segregación.
- Debe evitarse, en lo posible, que el hormigón se seque durante el transporte.
- Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa un principio de fraguado, la misma debe de rechazarse y no ser puesta en obra.

b) Condiciones durante la operación de hormigonado:

- Asegurarse de que la chapa esté limpia y desengrasada antes de proceder al vertido del hormigón. Si la cara expuesta (superior) del hormigón recibe radiación solar directa deberemos de proteger o humedecer la superficie para evitar fisuras por retracción.
- El vertido se realizará desde una altura máxima de 30 cm. El hormigón debe ir dirigido durante el vertido, mediante canaletas que impidan su choque libre contra las armaduras y el perfil. En la medida de lo posible el hormigón se verterá, haciendo coincidir con las vigas u otros elementos resistentes de la estructura.
- Se distribuirá directamente de forma uniforme, con el máximo cuidado procurando que el hormigón vertido no supere la altura total de la losa y no permitiendo amontonar el hormigón.
- No se arrojará el hormigón con pala a distancia, ni se distribuirá con rastrillos para no disgregarlo. Se evitará el impacto de cargas sobre la chapa y el desplazamiento de carretillas se realizará sobre tableros gruesos.
- En el hormigonado de superficies inclinadas el hormigón fresco tiene tendencia a deslizarse hacia abajo, especialmente bajo el efecto de la vibración. Se debe de hormigonar de abajo hacia arriba, por roscas, cuyo volumen y distancia a la parte compactada debe calcularse de forma que el hormigón ocupe su lugar definitivo después de una corta acción del vibrador.



Tabla 2-8: Operación de hormigonado (tomada de [6])

2.3 Conceptos previos relativos al aislamiento acústico necesarios para el estudio

El sonido se considera como una alteración física que se propaga por un medio, por ejemplo el aire, que puede ser detectada por el oído humano dentro del rango de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz. [10]. El ruido se define como un sonido molesto no deseado, ya que altera el bienestar e interfiere en la vida cotidiana. En este apartado se exponen una serie de términos acústicos necesarios para comprender el Documento básico DB-HR "Protección frente al ruido" del CTE y la aplicación del mismo.

En primer lugar, hemos de diferenciar los conceptos básicos utilizados en el ámbito de la acústica arquitectónica o acústica de la edificación: el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico. Los objetivos de uno y otro, aunque relacionados entre sí, son distintos, pero deben emplearse conjuntamente para unir y complementar su potencial.

El aislamiento acústico es el conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos, tanto aéreos como estructurales, de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite, y es percibido en otro recinto. [11]

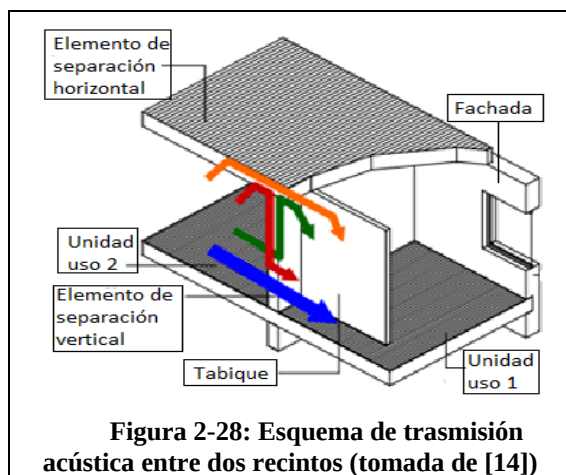
El acondicionamiento acústico, implica a un único recinto, es decir, el sonido es generado y percibido en el mismo. Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas técnicas constructivas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas conforme al uso que se le va a dar. [11]

Los índices que expresan el aislamiento acústico según el DB-HR son magnitudes que pueden obtenerse en el edificio terminado mediante un ensayo de aislamiento acústico normalizado y el valor de esta medición es directamente comparable con el de la exigencia y el proyectado.

Para cualquier elemento constructivo, su aislamiento acústico final en obra, difiere del valor obtenido en laboratorio. Esto es debido al hecho de que en la edificación la transmisión de ruido entre dos recintos se produce por dos vías:

- Por vía directa a través del elemento constructivo de separación. Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo y es lo que es lo que realmente se mide en laboratorio, ya que allí las transmisiones indirectas son despreciables.

- Por vía indirecta o de flancos debido a las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación principal. [12]



Significado de los diferentes colores:

- En azul se indica la transmisión directa, a través del elemento de separación vertical. En otros colores se han indicado las transmisiones indirectas o de flancos:
- En naranja la transmisión de flanco a flanco, en este caso a través del forjado.
- En rojo, la transmisión flanco-directo, desde el forjado al elemento de separación vertical.
- En verde la transmisión directa-flanco, desde el elemento de separación vertical al forjado.

Tabla 2-9 Esquema de transmisión acústica entre recintos

Dado que el aislamiento acústico entre recintos depende no sólo del elemento de separación entre ambos, en algunas ocasiones, cuando existan flancos de menor aislamiento, la mejora del elemento de separación puede no suponer una mejora sensible del aislamiento, si no se elimina o mejora la vía de transmisión indirecta que está penalizando el aislamiento acústico.

La transmisión por flancos viene condicionada por las características constructivas y geométricas de los elementos de separación, el tipo de conexión entre los mismos y las características geométricas del recinto.

Para más información sobre detalles a tener en cuenta y acciones a tomar para el aislamiento acústico acudir a Anexo IV derivado de [13].

Existen dos tipos de ruidos gestionados en la normativa que se recogen en la siguiente tabla:

	Definición [11]Es el ruido inducido por la perturbación generada en los volúmenes de aire que rodean a las fuentes sonoras. Así, cuando las ondas acústicas originadas por las diversas fuentes inciden sobre un sistema constructivo separador de dos espacios o recintos, éste responderá a esta fuerza de excitación entrando en vibración forzada y convirtiéndose en un nuevo foco sonoro emisor secundario de ruidos aéreos que, a su vez, modificará el estado de reposo de la capa de aire inmediatamente próxima en el recinto contiguo, transmitiéndose de este modo el ruido a los demás recintos.	Objetivo de aislamiento El objetivo es que las ondas sonoras pierdan la mayor cantidad de energía posible entre recintos. El aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos se puede expresar de tres maneras: - En forma gráfica; representando el aislamiento en función de la frecuencia. - En forma tabulada; aportando valores de aislamiento para cada frecuencia. - Mediante un único valor.																																												
Ruido aéreo	Área, S de la muestra: 11,00 m² Volumen del recinto receptor: 44,00 m³ <table><thead><tr><th>Frecuencia f Hz</th><th>Dtr,2m,nT 1/3 Octava dB</th></tr></thead><tbody><tr><td>50</td><td></td></tr><tr><td>63</td><td></td></tr><tr><td>80</td><td></td></tr><tr><td>100</td><td>26,7</td></tr><tr><td>125</td><td>29,8</td></tr><tr><td>160</td><td>32,0</td></tr><tr><td>200</td><td>34,7</td></tr><tr><td>250</td><td>32,0</td></tr><tr><td>315</td><td>30,0</td></tr><tr><td>400</td><td>33,9</td></tr><tr><td>500</td><td>36,2</td></tr><tr><td>630</td><td>37,2</td></tr><tr><td>800</td><td>37,6</td></tr><tr><td>1000</td><td>37,6</td></tr><tr><td>1250</td><td>39,3</td></tr><tr><td>1600</td><td>39,9</td></tr><tr><td>2000</td><td>43,0</td></tr><tr><td>2500</td><td>43,4</td></tr><tr><td>3150</td><td>44,6</td></tr><tr><td>4000</td><td>46,2</td></tr><tr><td>5000</td><td>45,9</td></tr></tbody></table> Valoración según la Norma ISO 717-1 D_{T,2m,nT,w} (C; C_T) = 39 (-1; -3) dB Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería	Frecuencia f Hz	Dtr,2m,nT 1/3 Octava dB	50		63		80		100	26,7	125	29,8	160	32,0	200	34,7	250	32,0	315	30,0	400	33,9	500	36,2	630	37,2	800	37,6	1000	37,6	1250	39,3	1600	39,9	2000	43,0	2500	43,4	3150	44,6	4000	46,2	5000	45,9	----- Rango de frecuencia según los valores de la curva de referencia (ISO 717-1)
Frecuencia f Hz	Dtr,2m,nT 1/3 Octava dB																																													
50																																														
63																																														
80																																														
100	26,7																																													
125	29,8																																													
160	32,0																																													
200	34,7																																													
250	32,0																																													
315	30,0																																													
400	33,9																																													
500	36,2																																													
630	37,2																																													
800	37,6																																													
1000	37,6																																													
1250	39,3																																													
1600	39,9																																													
2000	43,0																																													
2500	43,4																																													
3150	44,6																																													
4000	46,2																																													
5000	45,9																																													

Figura 2-29: Ejemplo de gráfica de aislamiento del ruido aéreo en un recinto (tomada de [11])

Figura 2-29: Ejemplo de gráfica de aislamiento del ruido aéreo en un recinto (tomada de [11])

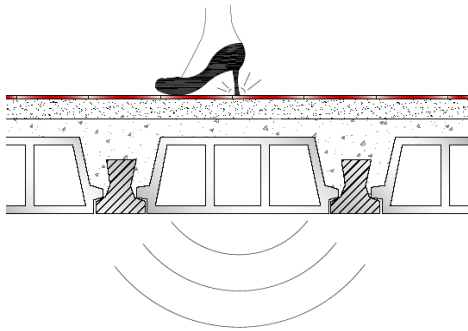
	Definición	Objetivo de aislamiento
Ruido de impacto	Los golpes que se producen en la losa de un elemento de separación horizontal provocan que vibre y se convierta en un foco sonoro. [10] <i>Sonido debido a la alta rigidez de la mayoría de elementos constructivos, la excitación inicial inducida por el impacto se transmite rápidamente y con elevada intensidad por la estructura. De este modo, las vibraciones de los paramentos ponen en movimiento las partículas de aire contiguas a ellos, lo cual induce la aparición de ruidos aéreos no sólo en el recinto inmediatamente inferior al elemento de separación horizontal excitado por el impacto, sino también en otros recintos de la edificación.</i>	El objetivo es cortar el camino de transmisión de vibraciones mediante la interposición de materiales elásticos. Para alcanzar un nivel de aislamiento a ruido de impacto hay que tener en cuenta: - Las características de la fuente de ruido. - La estructura del elemento de separación horizontal. - El tipo de revestimiento o acabado del suelo, por ejemplo moquetas o revestimientos blandos favorecen el aislamiento. - La tipología del suelo flotante sobre el forjado.
	 Figura 2-30: Propagación ruido de impacto (tomada de [10])	

Tabla 2-10: Ruido aéreo y de impacto

Existen una serie de materiales comunes de ejecución en edificación:

- Materiales absorbentes acústicos como lanas, fieltros, mantas, etc.
- Placas de yeso laminado que pueden aplicarse de forma directa con pelladas o ancladas a una perfilera.
- Láminas elásticas para aislamiento a ruido de impactos
- Paneles multicapas formados por una lámina viscoelástica y materiales absorbentes.
- Amortiguadores de vibraciones.
- Bandas elásticas para apoyo de perfiles y ladrillos.

- Enlucidos, enfoscados, masillas, siliconas, que por sí mismos no son considerados materiales “acústicos”, pero su uso mejora las condiciones acústicas de los edificios, ya que permiten sellar aumentando la estanquidad de las soluciones y por tanto, su aislamiento acústico.

Los productos además deberán pasar una serie de comprobaciones antes de poder ser utilizados en la obra:

- a) que corresponden a los especificados en el pliego de condiciones del proyecto;
- b) que disponen de la documentación exigida;
- c) que están caracterizados por las propiedades exigidas;
- d) que han sido ensayados, cuando así se establezca en el pliego de condiciones o lo determine el director de la ejecución de la obra, con la frecuencia establecida.

Pero además el CTE-DB-HR [11] indica:

i. Los productos utilizados en edificación y que contribuyen a la protección frente al ruido se caracterizan por sus propiedades acústicas, que debe proporcionar el fabricante.

ii. Los productos que componen los elementos constructivos homogéneos se caracterizan por la masa por unidad de superficie kg/m^2 .

iii. Los productos utilizados para aplicaciones acústicas se caracterizan por:

a) La resistividad al flujo del aire, r , en kPa s/m^2 , obtenida según UNE EN 29053, y la rigidez dinámica, s' , en MN/m^3 , obtenida según UNE EN 29052-1 en el caso de productos de relleno de las cámaras de los elementos constructivos de separación.

b) La rigidez dinámica, s' , en MN/m^3 , obtenida según UNE EN 29052-1 y la clase de compresibilidad, definida en sus propias normas UNE, en el caso de productos aislantes de ruido de impactos utilizados en suelos flotantes y bandas elásticas.

c) El coeficiente de absorción acústica, α , al menos, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y el coeficiente de absorción acústica medio α_m , en el caso de productos utilizados como absorbentes acústicos. En el caso de no disponer del valor del coeficiente de absorción acústica medio α_m , podrá utilizarse el valor del coeficiente de absorción acústica ponderado, α_w .

Propiedad	Símbolo	Unidades	Norma de medición
Para productos de relleno de cámaras en elementos de separación			
Resistividad al flujo del aire	r	kPa s/m^2	UNE EN 29053
Rigidez dinámica	s'	MN/m^3	UNE-EN 29052-1
Para productos aislantes a ruido de impacto en suelos flotantes y bandas elásticas			
Clase de Compresibilidad	CP	niveles	Clases definidas en las normas de producto
Rigidez dinámica	s'	MN/m^3	UNE-EN 29052-1
Para productos usados como absorbentes acústicos			
Coeficiente de absorción acústica	α_m	adimensional	α_m UNE-EN ISO 354 o α_w ponderado UNE-EN ISO 11654

Figura 2-31: Características de las propiedades aislantes (tomada de [11])

iv. En el pliego de condiciones del proyecto deben expresarse las características acústicas de los productos utilizados en los elementos constructivos de separación.

Por tanto, algunos términos necesarios para el estudio se resumen a continuación:

Recinto	Espacio del edificio limitado por cerramientos, particiones o cualquier otro elemento de separación.
Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos	Diferencia de nivel estandarizado, ponderado en A, en dBA, entre recintos: - Para recintos interiores se utiliza el índice $D_{nT,A}$. - Para recintos en los que alguno de sus cerramientos constituye una fachada o una cubierta en las que el ruido exterior dominante es el de automóviles o el de aeronaves, se utiliza $D_{2m,nT,Atr}$. - Para recintos en los que alguno de sus cerramientos constituye una fachada o una cubierta en las que el ruido exterior dominante es el ferroviario o de estaciones de este, se utiliza el índice $D_{2m,nT,A}$.
Aislamiento acústico a ruido de impacto	Protección frente al ruido de impactos. Viene determinada por el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, en dB.
Tiempo de reverberación	Tiempo T, en segundos, necesario para que el nivel de presión sonora de un recinto disminuya 60 dB después del cese de la fuente. En general es función de la frecuencia. Los valores de las exigencias establecidas como límites, se entenderán como la media de los valores a 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz.
Coeficiente de absorción acústica α	Relación entre la energía acústica absorbida y la energía acústica incidente, referida a la unidad de superficie. Es función de la frecuencia.
Índice de ruido día L_d	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. Se expresa en dBA.
Índice global de reducción acústica de un elemento	Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica, R, para un ruido incidente rosa normalizado, ponderado A. Los índices de reducción acústica se determinarán mediante ensayo en laboratorio.
Área de absorción acústica A	Absorción acústica, en m^2 , correspondiente a un objeto de superficie no definida.
ΔL_w	Es la reducción de nivel global de presión de ruido de impactos propiciada por un revestimiento o suelo flotante, en dB.
ΔR_A	Mejora del índice global de reducción acústica propiciada por un revestimiento o suelo flotante, en dBA.
Rigidez dinámica	Esta característica se refiere a la capacidad de un material de conducir las ondas sonoras. Está relacionado con la densidad del material, por lo que los materiales más densos son mejores conductores del sonido (p. ej. llamar a una puerta de madera produce más sonido que hacerlo en un panel de lana mineral de vidrio).
Resistividad del flujo de aire	Indica el nivel de absorción de un material evaluando la cantidad de aire que puede pasar por el material a un caudal volumétrico determinado. Está relacionado con la densidad y el espesor.

2.4 Conceptos relativos al aislamiento térmico necesarios para el estudio

Tanto los edificios de nueva obra como los ya existentes deben alcanzar un objetivo fijado por normativa en cuanto aislamiento térmico; el papel primordial aquí es protagonizado por los componentes aislantes. Gracias al buen clima de nuestro país, con un buen aislamiento podemos conseguir reducir en gran medida el gasto de los equipos de climatización e incluso llegar a evitar su instalación, ya que son los principales responsables del consumo energético, lo que lleva también a una menor dependencia energética y a reducir el daño al medio ambiente.

2.4.1 Conducción, convección y radiación

A continuación, definimos una serie de conceptos importantes para el estudio del aislamiento térmico en la siguiente tabla:

Transmisión térmica: Transferencia de calor desde un cuerpo caliente a un cuerpo más frío.	Conducción	Transferencia de calor a través de un material sólido/líquido mediante el contacto directo entre sus partículas. Este proceso tiende a igualar su temperatura. La transmisión térmica a través de un material opaco fijo sólo tiene lugar por conducción.
	Convección	Transferencia de calor a través de fluidos (líquido o gas) en movimiento. Tiene lugar mediante el desplazamiento de partículas entre zonas con diferentes temperaturas.
	Radiación	Transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas o partículas subatómicas en movimiento.

Tabla 2-11: Transmisión térmica

Los materiales aislantes que se emplean en la construcción retienen la transferencia de calor por convección y conducción; ya que éstos afectan al flujo de aire a través de ellos reduciéndolo. El uso apropiado de ellos depende de las temperaturas de la zona, las propiedades mecánicas del material y la vida útil de servicio del mismo. Así, los materiales aislantes habituales son fibrosos como la lana mineral de vidrio, celulares como las espumas plásticas, o granulares como la perlita.

2.4.2 Medición de la transmisión.

Calcular la transmisión del calor a través de un material es complicado, cada producto tiene sus propias características y cada ambiente su propia naturaleza. Para poder definir bien esta transmisión, debemos conocer primero como deja el material pasar el calor a través de él, como los repele y en qué medida lo radia al exterior:

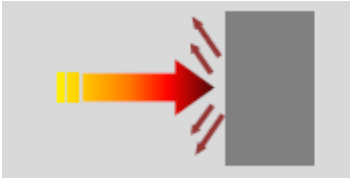
CONCEPTO	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Transmitancia térmica
Definición	Propiedad física de los materiales que mide su capacidad de conducción de calor; es decir, mide como de fácil es transmitir el calor a través de ellos.	Propiedad física de los materiales que mide su capacidad de oponerse a un flujo de calor. La resistencia térmica total de un elemento constructivo es la suma de todas las resistencias térmicas superficiales y la resistencia térmica de todas las capas que lo componen.	Propiedad física de los materiales que mide la cantidad de energía que atraviesa un elemento en una unidad de tiempo; es decir, mide el calor que se pierde o se gana a través de un elemento.
Concepto			
Notación	λ	R	U
Unidades	W / m K	m ² K / W	W / m ² K
Formula	$\lambda = \frac{\phi \cdot e}{2A(T_2 - T_1)}$	Materiales homogéneos: $R = \frac{e(m)}{\lambda(W/mK)}$ Elemento con diferentes capas: $R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_{se}$	$U = \frac{1}{R_T(m^2K/W)}$
Utilidad	Para comparar de forma rápida el comportamiento térmico de los materiales, y concretamente de los aislantes térmicos.	Es útil para poder comparar dos materiales aislantes con diferente espesor y diferente conductividad.	La Transmitancia térmica se usa en construcción para el cálculo de las pérdidas o ganancias de calor a través de la envolvente térmica.
Observaciones	- La conductividad térmica de un material es independiente de su espesor. - Cuanto menor es su valor, mejor es su comportamiento como aislante debido a que es menos conductor.	- Las resistencias térmicas superficiales vienen indicadas en el CTE. - Cuanto mayor es su valor, mejor es su comportamiento como aislante térmico al ofrecer más resistencia al paso de calor.	- La Transmitancia térmica es el inverso a la resistencia térmica. - Cuanto menor es su valor, mejor es el comportamiento como aislante térmico.

Tabla 2-12: Propiedades del aislamiento térmico (tomada de [15])

2.4.3 El problema de puente térmico

Un puente térmico se crea cuando entran en contacto materiales poco aislantes (por ejemplo, aire externo, pared de ladrillo u hormigón), permitiendo que el calor fluya por la trayectoria creada.

Los efectos habituales de los puentes térmicos son:

- Descenso de las temperaturas de superficie interiores; en los peores casos esto puede provocar una elevada humedad en algunas partes de la construcción.
- Aumento significativo de las pérdidas de calor.

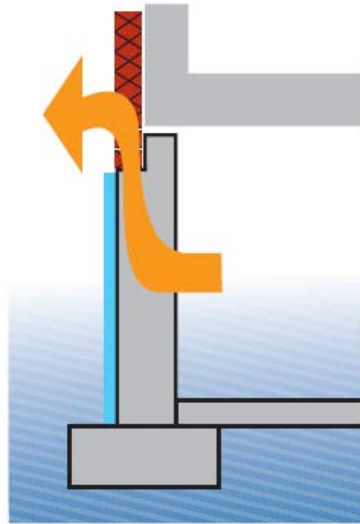


Figura 2-32: Puente térmico (tomada de [15])

Para poder solucionarlos, se consigue incluyendo un componente aislante adicional, creando de esta forma una rotura térmica.

3 ASPECTOS NORMATIVOS

El Código Técnico de la Edificación da cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente.

Con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, CTE, se derogan diversas normativas y para dar cumplimiento a las nuevas exigencias básicas se han de aplicar los documentos básicos, DB, que componen la II parte del CTE. Debido al amplio alcance del CTE, éste es referencia tanto en el ámbito general como en cada tema indicando el documento básico o la sección del mismo que le sea de aplicación.

Estos Documentos Básicos forman las especificaciones del Código Técnico, abarcando la seguridad en la construcción, la seguridad contra incendios, el ahorro de energía, la salubridad, la protección frente al ruido, la protección frente a la humedad, las características de los materiales en la construcción y sus instalaciones y el control de calidad de la obra.

Además, los productos de construcción (productos, equipos y materiales) que se incorporen con carácter permanente en los edificios, en función del uso previsto, llevarán el marcaje CE, de conformidad con la Directiva 89/106/CEE de productos de construcción, según RD 1630/1992, de transposición, de diciembre, modificado por el RD 1329/1995. En este sentido, las reglamentaciones recientes, como es el caso del CTE, hacen referencia a normas UNE-EN, CEI, CEN, que en muchos casos establecen requisitos concretos que se han de cumplimentar en el proyecto.

Aquí entran en juego los Eurocódigos estructurales, un conjunto de normas europeas de carácter voluntario, encargadas por la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización (CEN), y que se recogen los métodos comunes en todos los Estados Miembros de la Unión Europea para el cálculo y dimensionado de estructuras y de productos prefabricados estructurales, como es el caso de la estructura fabricada con chapa colaborante analizada en este trabajo de fin de grado.

A continuación se describirán los diferentes apartados respecto a la normativa actual, en relación con la rehabilitación en un edificio de acuerdo con lo establecido en nuestro proyecto; el comportamiento estructural, acústico y térmico. Para ello se desglosará la normativa con los aspectos más importantes para cada punto.

3.1 El comportamiento resistente del forjado colaborante

A falta de una normativa especializada en este tipo de estructuras, en esta sección nos centraremos en la normativa para el cálculo estructural del forjado colaborante como estructura mixta de forma general.

Se estudiarán de una forma básica los principales hitos que debe cumplir la estructura, teniendo en cuenta siempre que el fabricante proporcionará ya todas las características del material, obtenidas mediante ensayos en laboratorio.

Para mostrar los requerimientos que estas estructuras deben tener a la hora de ser fabricadas, utilizaremos los diferentes Eurocódigos, en especial el número 4 especializado en este tipo de estructuras.

El Eurocódigo 4 es aplicable a los proyectos de elementos mixtos o estructuras mixtas para edificación y obras de ingeniería civil. Es conforme con los principios y requisitos relativos a la seguridad y al comportamiento en servicio de las estructuras, así como las bases de su dimensionamiento y comprobación indicadas en la Norma EN 1990

El Eurocódigo 4 sólo hace referencia a los requisitos de resistencia, comportamiento en servicio, durabilidad y resistencia al fuego de estructuras mixtas. No se consideran otros requisitos, por ejemplo referentes al aislamiento térmico o acústico. [5]

Específicamente, para estructuras mixtas nos centraremos en el apartado 9 de dicho Eurocódigo donde indica textualmente:

1.- Este capítulo se aplica a losas mixtas flectando sólo en la dirección de los nervios. También se incluyen las losas en voladizo. Este capítulo se aplica al proyecto de estructuras de edificación donde las sobrecargas sean fundamentalmente estáticas, incluyendo los edificios industriales donde los forjados pueden estar sometidos a cargas móviles.

2.- El campo de aplicación se limita a chapas nervadas con almas próximas.

NOTA Las almas próximas se definen mediante un límite superior para la relación br/bs . El valor de este límite puede indicarse en el anexo nacional. El valor recomendado es 0,6.

3.- Las losas mixtas se admiten en estructuras en las que la sobrecarga sea muy repetitiva o se aplique de modo repentino produciendo efectos dinámicos, aunque se debe tener especial cuidado en los detalles constructivos para garantizar que la acción mixta no se degrada con el tiempo.

4.- No se excluyen las losas sometidas a cargas sísmicas, siempre que se utilice un método de dimensionamiento adecuado para las condiciones sísmicas del proyecto concreto o recogido en otro Eurocódigo.

5.- Pueden emplearse las losas mixtas para proporcionar un arriostramiento lateral a las vigas de acero y actuar como diafragma para resistir las acciones horizontales, aunque no se indican reglas específicas en esta norma. Para la acción como diafragma de las chapas de acero nervadas mientras estén actuando como encofrado se aplican las reglas indicadas en el capítulo 10 de la Norma EN 1993-1-3.

3.1.1 Tipos de comportamiento

Encontramos tres tipos de comportamiento, tal y como se muestra en la figura 3-1:

- Interacción completa entre el acero y el hormigón: no existe deslizamiento global en la superficie de contacto acero-hormigón. La transferencia del rasante horizontal es completa y la carga última P_u está en su máximo (la acción mixta es completa).
- Interacción nula entre acero y hormigón: deslizamiento global en la superficie de contacto acero-hormigón sin límite y prácticamente no hay transferencia del rasante. La carga última se encuentra en su mínimo y apenas se observa una acción mixta.
- Interacción parcial entre acero y hormigón: el deslizamiento global en la superficie de contacto no es cero pero está limitado. La transferencia de rasante es parcial y la carga última se encuentra entre las de los casos anteriores. El fallo puede ser frágil o dúctil.

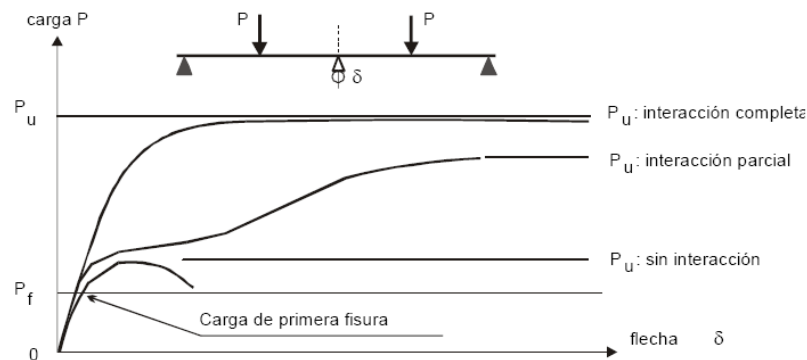


Figura 3-1: Comportamiento de una losa mixta (tomada de [7])

La rigidez de la losa mixta, representada por la primera parte de la curva $P-\delta$, es diferente para cada tipo de comportamiento. Esta rigidez es máxima para la interacción completa y mínima para la interacción nula.

3.1.2 Detalles constructivos

Para comenzar con la definición de esta estructura, la dimensionaremos según las medidas establecidas por la normativa del Eurocódigo 4; quedando esta, aunque la chapa pueda adoptar multitud de formas diferentes, con unas medidas estándar que detallaremos gracias a la figura 3-1 a continuación:

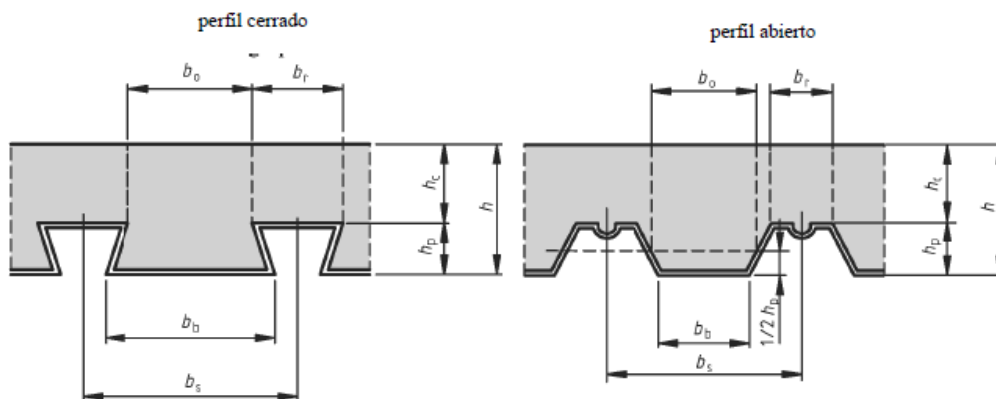


Figura 3-2: Dimensiones de la chapa y la losa (tomada de [5])

- i) El canto total de la losa mixta h no debe ser menor que 80 mm. El espesor de hormigón h_c sobre la superficie plana principal de la parte superior de los nervios de la chapa no debe ser menor que 40 mm.
- ii) Si la losa forma parte de una viga mixta o se utiliza como diafragma, su canto total no debe ser menor que 90 mm y h_c no debe ser menor que 50 mm.
- iii) Las armaduras transversales y longitudinales se deben disponer dentro del canto h_c de hormigón.
- iv) La cuantía de armado en ambas direcciones no debería ser menor que $80 \text{ mm}^2/\text{m}$.
- v) La separación entre barras de armadura no debería ser mayor que el menor de los valores entre $2h$ y 350 mm.
- vi) El tamaño nominal del árido depende de la dimensión más pequeña del elemento estructural en el que se vierte el hormigón y no debe superar el menor de los siguientes valores:
 - $0,4 h_c$.
 - $b_o/3$, siendo b_o la anchura media de los nervios (anchura mínima en caso de perfiles cerrados)
 - 31,5mm (tamiz C31, 5).

Un aspecto importante a tener en cuenta en esta estructura reside en los apoyos de la chapa en la estructura básica del edificio (como son las vigas principales y secundarias), en el cual no entraremos en este trabajo. Para ello, las chapas deben estar colocadas de acuerdo a una serie de premisas que se definirán a continuación:

i) La longitud del apoyo debe ser tal que se evite el daño a la losa y al apoyo, alcanzando la sujeción de la chapa en el apoyo sin peligro para éste y sin que se produzca una rotura por un desplazamiento accidental durante el montaje.

ii) Las longitudes de apoyo, l_{bc} y l_{bs} , indicadas en la figura 3-2, no deberían ser menores que los valores límites siguientes:

- Para losas mixtas apoyadas en acero u hormigón: $l_{bc} = 75 \text{ mm}$ y $l_{bs} = 50 \text{ mm}$.
- Para losas mixtas apoyadas en otros materiales: $l_{bc} = 100 \text{ mm}$ y $l_{bs} = 70 \text{ mm}$.

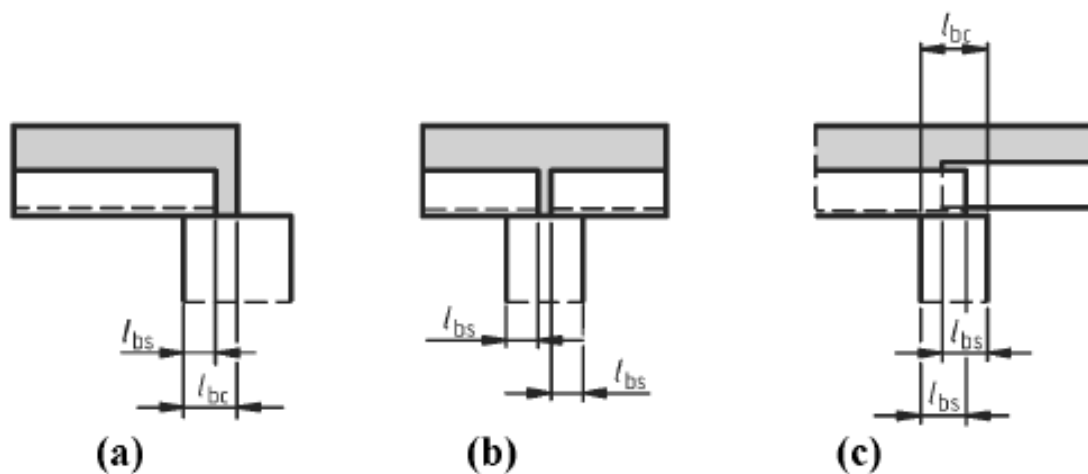


Figura 3-3: Longitudes mínimas de los apoyos (tomada de [5])

3.1.3 Acciones y efectos de las acciones

Un forjado de hormigón con una chapa colaborante implica dos estados estructurales diferentes, la fase de construcción (cuando la chapa actúa de encofrado perdido) y el estado final. Durante el hormigonado, la chapa grecada es el único elemento resistente, que puede ser apuntalada o no. Durante la fase de utilización, al contrario, el acero y el hormigón están conectados y ambos constituyen una sección mixta. Tanto para la fase de construcción como para el estado definitivo se deberán efectuar las relevantes verificaciones de la seguridad estructural y de la aptitud al servicio.

A efectos de las verificaciones relativas a la chapa grecada, aparte de su peso propio se deberán tener en cuenta básicamente el peso del hormigón fresco así como una carga de construcción. Además del peso del hormigón fresco en función de su espesor nominal, según los planos de ejecución, se deberá tener en cuenta el peso del hormigón adicional que se vierte. Esto se hace para nivelar la superficie de la capa de hormigón a efectos de compensar la deformación de la chapa grecada bajo el peso del hormigón fresco. La carga de construcción deberá tener en cuenta el peso de los operarios, la acumulación local del hormigón fresco en la zona del vertido, las instalaciones necesarias para el hormigonado, así como las posibles vibraciones o impactos que se puedan producir durante la construcción.

En el proyecto se deben considerar todas las situaciones de proyecto y los estados límites relevantes para asegurar un grado adecuado de seguridad y comportamiento en el servicio. Se deben considerar las siguientes situaciones:

3.1.3.1 Fase de Ejecución

En esta fase la chapa actúa como encofrado, se utilizan las propiedades como elemento resistente, para ello se utiliza lo prescrito en el Eurocódigo 3: UNE-ENV 1993-1-3 Diseño de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales para elementos conformados en frío. Las cargas actuantes son:

Acción	Área cargada	Carga en kN/m ²
(1)	Fuera del área de trabajo	0,75 correspondiente a Q_{ca}
(2)	Dentro del área de trabajo 3 m x 3 m (o la luz si es menor)	10% del peso propio del hormigón pero no menor que 0,75, ni mayor que 1,5 Incluye Q_{ca} y Q_{cf}
(3)	Área real	Peso propio del encofrado, el equipamiento no permanente (Q_{ce}) y el peso del hormigón fresco para el espesor de cálculo (Q_{cf})

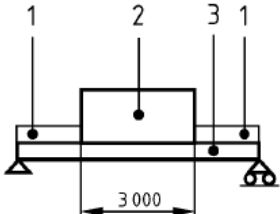
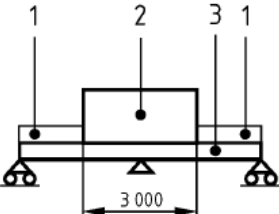



Tabla 3-1: Valores característicos recomendados para las acciones debidas a las cargas de construcción durante el hormigonado (tomada de [5])

a) Estados límites últimos:

- El peso del hormigón y de la chapa de acero.
- Las cargas de ejecución, incluyendo el amontonamiento local del hormigón durante la construcción (Anexo V).

- Las acciones a considerar simultáneamente durante el hormigonado pueden incluir el personal y las herramientas de mano (Q_{ca}), encofrados y equipamientos no permanentes (Q_{cc}) y el peso del hormigón fresco (el cual es un ejemplo de Q_{cf}), según el caso (tablas 3-1).
- Se tendrán también en cuenta cargas por acopios y embalsamiento (aumento del espesor debido a la deformación de la chapa $0,7\delta$ si la flecha es superior a $1/10$ el canto de la losa).

b) Estados límites de servicio:

La comprobación para dicho estado se realizará sobre la carga de peso propio del hormigón y de la chapa, sin tener presente las sobrecargas de construcción y ejecución, debiendo ser la flecha inferior a $L/180$ y 20mm.

3.1.3.2 Fase Mixta

Cuando la losa de hormigón y la chapa interactúan como un solo material, se han de estudiar las acciones en conjunto, y se tendrán en cuenta las siguientes:

- Materiales y materiales almacenables.
- El peso propio de las construcciones, el cual incluye elementos estructurales (que pueden ser definidos por el fabricante) y efectos no estructurales (terminaciones, materiales de cubierta, tabiques, pasamanos, falsos techos, aislamiento térmico...), así como de instalaciones fijas (ascensores, calefacción, electricidad...).
- Dentro de las cargas como losas mixtas, tendremos que caracterizar las sobrecargas de uso; las cuales son debidas a la ocupación de los mismos. Incluyen modelos de cargas uniformemente repartidas y también cargas lineales o concentradas o una combinación de las mismas. Además para determinar estas sobrecargas es necesario subdividirlas en zonas o cubiertas de acuerdo a su uso como se refleja en la tabla 3-2.

Categoría	Uso específico	Ejemplo
A	Zonas de actividades domésticas y residenciales	Habitaciones en edificios residenciales y viviendas individuales; dormitorios y pasillos en hospitales; dormitorios en hoteles y cocinas y lavabos en hostales.
B	Zonas de oficinas	
C	Zonas donde pueda congregarse la gente (con excepción de las zonas definidas bajo las categorías A, B y D ¹⁾)	C1: Zonas con mesas, etc., por ejemplo, zonas en colegios, cafés, restaurantes, comedores, salas de lectura, recepciones. C2: Zonas con asientos fijos, por ejemplo, zonas en iglesias, teatros o cines, salas de conferencias, salones de actos, salas de reuniones, salas de espera, salas de espera en estaciones de ferrocarril. C3: Zonas sin obstáculos para el movimiento de personas, por ejemplo, zonas en museos, salas de exposiciones, etc., y zonas de acceso en edificios públicos y de la administración, hoteles, hospitales, antesalas de estaciones del ferrocarril. C4: Zonas con posibles actividades físicas, por ejemplo, salones de baile, salas de gimnasio, escenarios. C5: Zonas susceptibles de reunir grandes masas, por ejemplo, en edificios para celebraciones públicas como salas de conciertos, palacios de deportes incluidas las gradas, terrazas y zonas de acceso y andenes del tren.
D	Zonas comerciales	D1: Zonas en tiendas al detalle D2: Zonas en grandes almacenes

Tabla 3-2: Sobrecargas. División de los usos por categorías (tomada de [14])

Las categorías de las zonas de carga se deben calcular empleando valores característicos q_k (carga uniformemente repartida) y Q_k (carga concentrada). Estos valores se recogen a continuación en la tabla 3-3:

Categorías de zonas de carga	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Categoría A		
– Suelos	1,5 a <u>2,0</u>	<u>2,0</u> a 3,0
– Escaleras	<u>2,0</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 4,0
– Balcones	<u>2,5</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 3,0
Categoría B	2,0 a <u>3,0</u>	1,5 a <u>4,5</u>
Categoría C		
– C1	2,0 a <u>3,0</u>	3,0 a <u>4,0</u>
– C2	3,0 a <u>4,0</u>	2,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
– C3	3,0 a <u>5,0</u>	<u>4,0</u> a 7,0
– C4	4,5 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>
– C5	<u>5,0</u> a 7,5	3,5 a <u>4,5</u>
Categoría D		
– D1	<u>4,0</u> a 5,0	3,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
– D2	4,0 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>

Tabla 3-3: Sobrecargas de uso. Valores característicos (tomada de [14])

Cuando fuese necesario, q_k y Q_k deberían incrementarse en el cálculo si las dimensiones o la ocupación son muy grandes. Los suelos que estén sometidos a un uso múltiple, deberán acogerse a la

3.1.4 Determinación de esfuerzos para losa mixta

El método de análisis empleado será el siguiente, apropiado para los Estados Límites de Servicio, como para los Estados Límites Últimos. Para estos casos sólo se tendrán en cuenta los efectos de la propia estructura y los asociados a ésta. Los efectos definidos en el Eurocódigo 4 como accidentales (nieve, viento, cargas dinámicas...) se definen en el Anexo VII.

3.1.4.1 Estado Límite Último de Flexión

Se tendrán presente todas las posibles combinaciones de cargas, con sus correspondientes coeficientes de combinación para los E.L.U., según indica el Eurocódigo -1 “Bases de proyecto y acciones sobre las estructuras”. Hipótesis de cálculo:

E.L.U.: Carga Máxima = 1,35 * Peso Propio + 1,50* Sobrecarga Uso

Luces < 3,5 m ----- Flecha Máxima < L/350

Luces > 3,5 m ----- Flecha Máxima < (L/700) + 5 mm

3.1.4.2 Estado Límite Último de Cortante

El esfuerzo cortante último $V_{v,Rd}$, de un forjado mixto sobre una anchura igual a la distancia entre centros de nervios se determina por:

$$V_{v,Rd} = b_o \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho)$$

Dónde:

$$\rho = \frac{A_p}{b_o \cdot d_p} < 0,02$$

$$k_v = 1,6 - d_p \geq 1 \quad \text{con } d_p \text{ en m}$$

- b_o ancho medio de los nervios (mínimo en chapas cuyas almas forman ángulo agudo con su base)
- τ_{Rd} resistencia básica a cortante, de valor $0,25 \cdot f_{ctk} / \gamma_c$
- f_{ctk} valor de $f_{ctk0,05}$ (tabla 2-2)
- A_p área de la chapa traccionada en el ancho b_o (despreciando engarces y muescas)

El estado límite último a cortante será más crítico cuanto menor sea el radio luz vano/espesor.

3.1.4.3 Estado límite último a esfuerzo punzante

La resistencia última a punzonamiento $V_{p,Rd}$, de un forjado mixto frente a una carga concentrada viene dada por:

$$V_{p,Rd} = C_p \cdot h_c \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho)$$

C_p es el perímetro crítico obtenido como se indica en la figura 3-26 y los demás símbolos han sido especificados anteriormente.

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot h_c + 2 \cdot (2 \cdot d_p + a_p - 2 \cdot h_c) + 2 \cdot b_p + 8 \cdot h_f$$

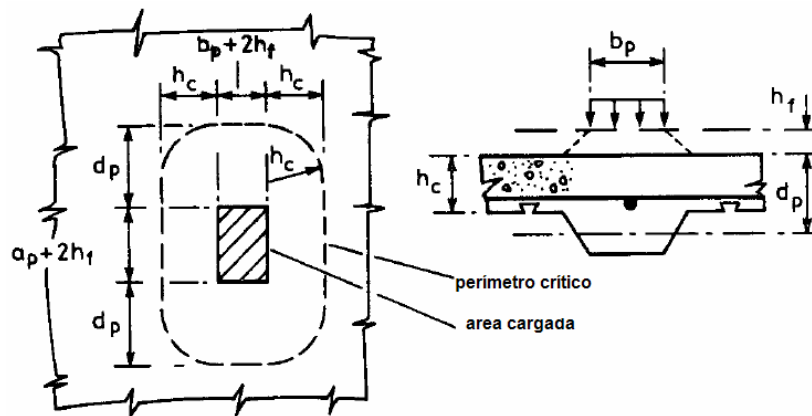


Figura 3-4: Perímetro crítico (tomada de [2])

3.1.4.4 Estado Límite Último de Rasante

La capacidad resistente a flexión de un forjado mixto vendrá limitada por la capacidad resistente a tensiones rasantes, ya que la primera sólo podrá llegar a desarrollarse hasta el límite si el binomio

chapa-hormigón posee una adherencia tal que la acción compuesta entre ambos componentes queda garantizada.

La resistencia a las tensiones rasantes se desarrolla, si no existen conectores en dos fases principales. Estas fases coinciden, la primera de ellas, con la adhesión entre la chapa y el hormigón, y la segunda, denominada mechanical interlocking, con la adherencia lograda a través del engarce o trabazón existentes entre chapa y hormigón, por medio de unos mecanismos internos, como indentaciones o resaltos. Ambas fases resistentes resultan consecutivas, no comenzando el trabajo de la siguiente hasta haber agotado la adhesión a la primera, produciéndose en ese momento un corrimiento, entre ambos componentes, denominado “primer corrimiento”.

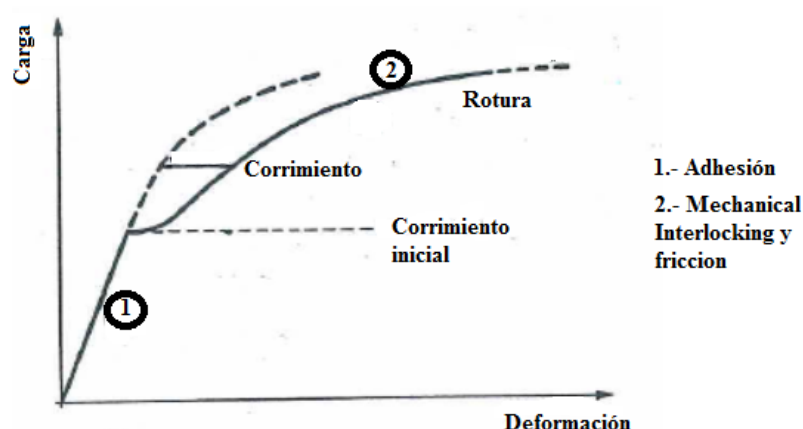


Figura 3-5: Desarrollo de las fases de esfuerzos rasantes

Lógicamente la comprobación a tensiones rasantes es previa y generalmente exige la comprobación experimental de la sección, teniendo en cuenta las características geométricas de las chapas y la forma y posicionamiento de las indentaciones. Todos los catálogos técnicos de este tipo de chapas deben garantizar la capacidad resistente a tensiones rasantes. Cuando en los extremos del vano existen conectadores, la capacidad resistente a tensiones rasantes viene garantizada por ellos y es muy probable poder llegar a agotar a flexión la sección mixta de chapa y hormigón si el conector soporta los esfuerzos a que se ve sometido o la chapa no se desgarrar. Las características de los conectores vienen recogidas en el Anexo VII.

En conexión completa las tensiones rasantes pueden obtenerse, teóricamente, por el teorema de Colignon; no obstante, como la geometría del forjado es más complicada también lo es la aplicación del planteamiento y las expresiones que resultan. En conexión parcial el estudio teórico debe considerar la influencia del deslizamiento en la distribución de tensiones normales, y tanto su desarrollo como las expresiones finales son también excesivamente laboriosos. Por esta razón se recurre a métodos empíricos o semiempíricos más sencillos en la práctica, pero con el inconveniente de que es necesario realizar ensayos para evaluar algunos parámetros que intervienen en las expresiones.

Con esta premisa, el Eurocódigo 4 propone dos procedimientos para calcular la resistencia a rasante de forjados mixtos: el método “m-k” y el de la conexión parcial. El primero no proporciona información sobre el tipo de conexión, simplemente por una expresión semiempírica define la condición de resistencia. El segundo establece inicialmente el tipo de conexión, y si es completa, resulta suficiente la comprobación a flexión anterior, pero en caso contrario hay que verificar el rasante por un criterio que también define. Para la aplicación práctica de ambos se ha de considerar:

- En forjados sin anclaje extremo: para disposiciones constructivas con enlace mecánico o por fricción entre hormigón y chapa (figura 2-17, 1 y 2) son aplicables los dos procedimientos.

- En forjados con anclaje extremo (figuras 2-20 3 y 4): el rasante se determina por el método de conexión parcial; el perno extremo en el tipo 3 se calcula para soportar la tracción de la chapa en estado límite último, considerando (en pernos con cabeza soldados a través de la chapa) como resistencia a rasante $P_{pb,Rd}$, el menor de los valores correspondientes al perno.

Se describen en el Anexo III estos dos procedimientos para determinar la resistencia a esfuerzo rasante de los forjados mixtos.

3.1.4.5 Estado límite de servicio a fisuración

La cara inferior del forjado está protegida por la chapa de acero. La fisuración ocurrirá en la cara superior del forjado, donde éste es continuo, en la zona donde se apoyará la chapa en las vigas secundarias, y será más ancha si cada uno de los vanos del forjado se diseña como simplemente apoyado, en lugar de continuo, y si los vanos están apeados durante la construcción.

El cálculo del ancho de fisura dependerá del ambiente en el cual nos encontremos. Este cálculo se hará de acuerdo con el Eurocódigo 2 1-1, 7.3 o una la norma nacional equivalente, en nuestro caso EHE.

Como alternativa a este cálculo, se puede adoptar un cálculo simplificado y conservador que limita el ancho de fisura, asegurando un refuerzo mínimo y un límite en el espaciamiento de las barras de refuerzo. Este cálculo está recogido en el Eurocódigo 4, 1-1, 7.4.2 y 7.4.3.

En el caso en que el diseño del forjado se haya realizado mediante vigas simplemente apoyadas en lugar de continuas y el control del ancho de fisura no interese (ambientes tipo I, cargas moderadas) por no influir en la durabilidad, la armadura longitudinal para el control de fisuración no será menor que:

$\geq 0,2\%$ de la sección de hormigón por encima de la chapa, en construcciones no apeadas.

$\geq 0,4\%$ de la sección de hormigón sobre los nervios, en construcciones apeadas.

3.1.4.6 Estados límite de servicio a Deformación

Comprobación según la instrucción EFH-99 en lo referente al valor de las flechas admisibles.

E.L.S.: Carga Máxima = 1,00 * Peso Propio + 1,00* Sobrecarga Uso

Luces < 3,5 m ----- Flecha Máxima < L/350

Luces > 3,5 m ----- Flecha Máxima < (L/700) + 5 mm

Las limitaciones relativas a flechas admisibles que deben satisfacer estos forjados dependerán del proyectista o bien del cliente. Puede omitirse la comprobación de flechas cuando se cumplen simultáneamente estas dos condiciones:

i) La relación luz-canto no supera los límites de la tabla 3-13 para hormigones ligeramente solicitados, entendiéndose que se cumple esta condición cuando:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} < 0,5\%$$

- A_s área de armadura traccionada (incluyendo la chapa si desempeña esta función),

- b anchura de la sección considerada,

- d canto útil de la sección.

Aunque en el EC4 no está definido el canto del forjado a tomar para esta comprobación, lo más lógico sería que en este caso se cogiera el canto como d_p en lugar de h_t .

Sistema estructural	Hormigón poco solicitado
Losas simplemente apoyadas	25
Vano extremo de una losa continua	32
Vano interior de una losa continua	35
Losa apoyada en soportes sin vigas (referida a su luz mayor)	30
Voladizo	10

Tabla 3-4: Relación canto/luz en losas mixtas (tomada de [4])

ii) Cuando la carga para la que se produce un deslizamiento en el extremo de la placa de valor 0,5 mm en los ensayos es mayor que 1,2 veces la carga de servicio.

En vanos extremos el deslizamiento extremo puede tener un efecto significativo en la flecha, tanto si coinciden el inicial y el de rotura (figura 3-24, para comportamiento dúctil o semidúctil). El tipo de comportamiento se define por ensayos y cuando se produce deslizamiento para carga de servicio en forjados sin anclaje deben colocarse anclajes en los apoyos exteriores.

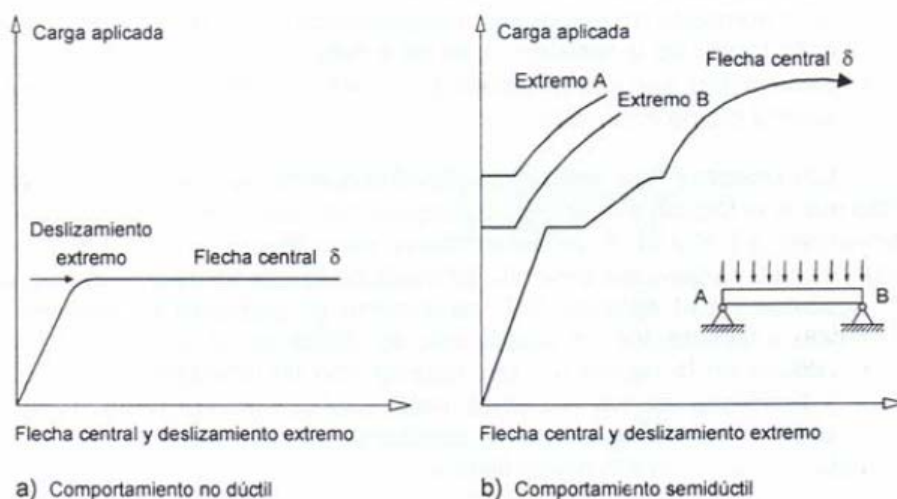


Figura 3-6: Comportamiento del forjado (tomada de [7])

Si en un forjado con anclajes extremos no se conoce experimentalmente la influencia de la conexión entre chapa y hormigón, el cálculo de la flecha se realiza de forma simplificada como si se tratara de dos barras acodaladas de hormigón (con la sección de la zona comprimida obtenida en el cálculo a flexión) y un tirante equivalente a la chapa metálica; este mecanismo equivale a considerar que el deslizamiento entre ambos materiales sólo está impedido en los anclajes, y a partir del acortamiento y alargamiento en las barras se puede obtener geoméricamente la flecha.

3.1.5 Actuación de cargas puntuales en la losa mixta

Cuando una losa tiene que soportar cargas puntuales o lineales, se puede considerar que están distribuidas en una anchura eficaz, a menos que se realice un cálculo más preciso. Estas cargas paralelas al vano de la losa se deberían considerar que están distribuidas en una anchura b_m medido sobre la cara superior de los nervios de la chapa, véase la siguiente figura:

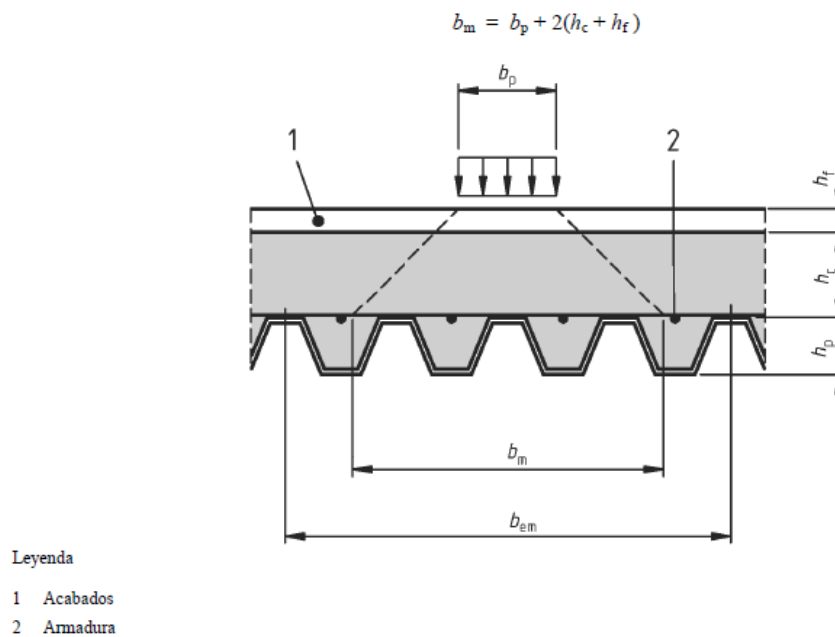


Figura 3-7: Distribución de cargas concentradas (tomada de [5])

Para cargas concentradas lineales perpendiculares al vano de la losa se debería usar la ecuación anterior para b_m , tomando como b_p la longitud de la aplicación de la carga concentrada lineal.

Por otro lado, si h_p/h no supera el 0,6, la anchura de la losa considerada como eficaz para el análisis global y para el cálculo de la resistencia, se puede obtener de manera simplificada con las siguientes ecuaciones:

Para flexión y esfuerzo rasante	Para vanos simples y vanos exteriores de losas continuas	$b_{em} = b_m + 2L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{ancho de la losa}$
	Para vanos interiores de losas continuas	$b_{em} = b_m + 1,33L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{ancho de la losa}$
Para esfuerzo cortante	$b_{ev} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{ancho de la losa}$	
Dónde: L_p es la distancia desde el centro de la carga al apoyo más cercano L es la longitud del vano		

Tabla 3-5: Cálculo del área equivalente para cargas puntuales

Se puede usar una armadura transversal nominal, sin necesidad de cálculos adicionales, si los valores característicos de las sobrecargas no superan los siguientes valores (en casos especiales de no satisfacer esta demanda habrá que calcular la distribución de momentos flectores provocados por las cargas que sufrirá la armadura):

- Carga puntual: 7,5 kN
- Carga repartida: 5 kN

Esta armadura transversal nominal debería tener una sección no menor del 0,2% del área del hormigón estructural sobre los nervios, y extenderse sobre una anchura no menor que b_{em} cuando se calcule. A partir de esta anchura debería disponerse de unas longitudes mínimas de anclaje, pudiendo satisfacer otros requisitos, de acuerdo al Anexo VI.

3.1.6 Fallas en la estructura. Secciones críticas.

En el siguiente apartado definiremos las secciones más débiles a determinados usos sobre el forjado de chapa colaborante cuando trabaja como estructura mixta.

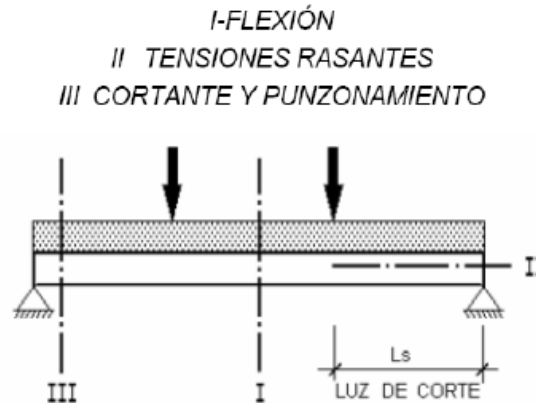


Figura 3-8: Modos de rotura ELU (tomada de [9])

i) Sección crítica tipo I: estas secciones pueden ser críticas si hay conexión completa entre el hormigón y la chapa, la rotura se produce por flexión cuando se alcanza el momento último, positivo o negativo, según su situación. Éste es generalmente el modo crítico para luces de moderadas a altas, con un alto grado de interacción entre el acero y el hormigón.

ii) Sección crítica tipo II: la carga máxima en el forjado queda condicionada por la resistencia de la conexión, la rotura se produce por excesivo rasante longitudinal cuyo valor último se alcanza antes que el momento último en las secciones tipo I, por lo que corresponde a conexión parcial. Esto produce un deslizamiento entre la chapa de acero y el hormigón, que puede llevar a una rotura entre la interfase acero-hormigón. Esto sucede en la sección II, a lo largo de la luz de rasante L_s .

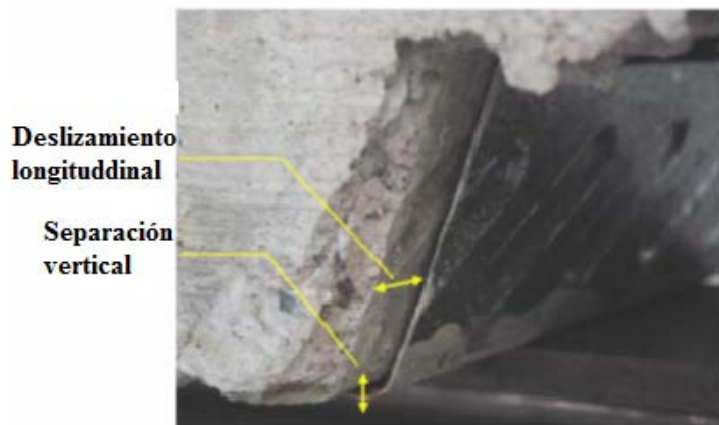


Figura 3-9: Fallo por deslizamiento longitudinal (tomada de [4])

iii) Sección crítica tipo III: estas secciones sólo son críticas en casos especiales, como forjados de gran canto con luces pequeñas y cargas importantes; la rotura se produce por cortante vertical y/o punzonamiento cuando se alcanza su valor último. Teniendo en cuenta el concepto unidireccional para proceder al análisis de este tipo de forjados, normalmente son los estados últimos de flexión los más limitadores desde el punto de vista resistente, aunque para cargas especiales muy concentradas pudieran ser los de cortante y punzonamiento.

El procedimiento constructivo del forjado marcará el esquema estático del sistema y por lo tanto su cálculo. Estados relevantes en la secuencia de construcción de los forjados, como la utilización de apeos, deberán ser considerados. Aunque no es objeto de este estudio, no hay que olvidar en el diseño de este tipo de forjados las vigas secundarias y principales. Las vigas secundarias serían aquellas en las cuales se fija la chapa colaborante. Si el forjado se diseña mediante conectores, éstas vigas se comportarán como vigas mixtas.

3.1.7 Influencia en la utilización de puntales

En la ejecución de los forjados mixtos, uno de sus elementos, la chapa grecada, posee capacidad resistente desde el principio, mientras que la otra, el hormigón, carece de ella hasta su endurecimiento y se comporta como un peso muerto a soportar. Por ello, el proceso constructivo se puede realizar sin apuntalamiento o bien con apuntalamiento, lo que puede influir en el estado tensional del forjado, reduciendo la capacidad resistente última de la losa mixta.

Un puntal es un apoyo provisional colocado para reducir temporalmente la distancia entre apoyos de los perfiles durante la fase de vertido y secado parcial del hormigón. Éstos, si se utilizan, serán colocados en el centro del vano. Como se ha indicado anteriormente, en el caso de necesitar dos puntales, se colocarán a $1/3$ y $2/3$ de la luz libre del tramo. El siguiente croquis ilustra la manera correcta de colocar un puntal.

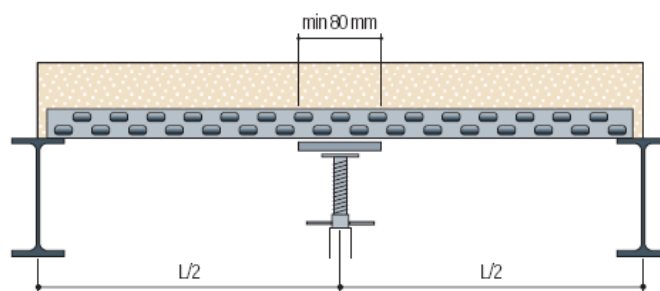


Figura 3-10: Detalle constructivo utilizando puntales (tomada de [10])

En el caso de no apuntalamiento, el perfil metálico sin más apoyos que los del forjado mixto definitivo ha de soportar el peso del hormigón, de su encofrado y las cargas que pueden actuar durante la fase de ejecución; esta hipótesis adicional, denominada estado de montaje, se debe verificar con los criterios aplicables a una pieza metálica. Si el perfil previsto para el forjado mixto satisface los requisitos correspondientes, es aceptable para esta situación, en caso contrario, hay que reforzarlo (resulta que es antieconómico pues el refuerzo sólo se aprovecha durante esta situación transitoria) o apuntalar.

En el caso de la ejecución de los forjados con apuntalamiento, el perfil metálico trabaja como viga continua sobre los apoyos definitivos del forjado mixto y los puntales provisionales deben soportar el peso del hormigón y las acciones de ejecución, lo que originan un estado de cargas típico de viga continua, junto con los diagramas de momentos y cortantes, que producirán tensiones sólo en el acero, que es el único elemento resistente en esta fase. Una vez endurecido el hormigón se retiran los puntales, equivale a aplicar sobre el forjado mixto (ahora trabajan conjuntamente acero y hormigón) cargas iguales y opuestas a las reacciones del estado anterior, que originan momentos y cortantes en los dos materiales. Y, al final del proceso, apuntalamiento y posterior desapuntalamiento, en el perfil metálico tendremos tensiones debidas a la superposición de dos estados tensionales, como encofrado perdido y ya trabajando como forjado mixto, y en el hormigón sólo el segundo estado.

Estas tensiones de montaje se superponen a las que se producen posteriormente en la fase de servicio. En estructuras normales de edificación, donde las luces no son grandes y la separación entre puntales suele ser pequeña, se puede despreciar, puesto que son poco importantes, pero cuando no se dan estas circunstancias hay que considerarlas por sus valores significativos.

Por todo lo explicado en este apartado, no es de extrañar que en las tablas de sobrecargas máximas, que son facilitadas por los fabricantes, en un determinado momento, al aumentar 1 cm el canto de la losa de hormigón, la sobrecarga admisible baja de manera significativa. Al aumentar la losa de hormigón, incrementamos la carga que, durante la fase de montaje, debe resistir la chapa. Llega un momento en que la chapa ya no puede soportar más peso, y es cuando procedemos a apuntalarla, reduciendo así la luz a la mitad. Como al verificar el forjado como losa mixta deberemos superponer estados tensionales. El resultado de ello es la disminución de esta sobrecarga admisible.

3.1.8 Diseño de vigas principales y secundarias

Un forjado mixto de chapa colaborante se sustenta sobre un emparrillado de vigas secundarias y principales. Las primeras sostienen directamente el forjado mixto, como se muestra la Figura 3-13, y las vigas principales unen a las vigas secundarias. Tanto las vigas secundarias como las principales pueden diseñarse para trabajar en forma compuesta con el forjado mixto. El espaciamiento entre vigas secundarias depende de las características del forjado; un espaciamiento típico de 3,0 m a 3,5 m es utilizado normalmente en construcción mixta. Para una distribución cuadrada de columnas, las vigas secundarias sostienen menos peso que las vigas principales, por consiguiente serán más ligeras o de menor altura.

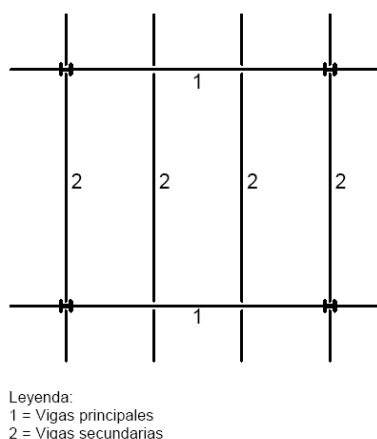


Figura 3-11: Diseño de vigas principales y secundarias (tomada de [2])

Para disposiciones rectangulares de columnas existen dos configuraciones generales de forjados:

- Vigas principales que sostienen vigas secundarias cortas.
- Vigas secundarias largas apoyándose directamente sobre las columnas, o unidas a vigas principales más cortas.

En el primer caso, las vigas secundarias poseen menor altura que las vigas principales, mientras que en el segundo caso, las alturas de las vigas puede ser aproximadamente igual. La elección del sistema está determinada frecuentemente por la forma de integración de los servicios en la estructura. Donde no existen dichas limitaciones, la última solución es usualmente la más económica.

Las vigas secundarias largas pueden fabricarse con muchas aberturas regulares. Estas vigas se fabrican cortando y soldando perfiles en I o H en forma circular. Resultan similares en forma a las vigas aligeradas hexagonales, las cuales tienen aberturas de forma hexagonal. Las vigas aligeradas

circulares son frecuentemente asimétricas en su sección transversal, las cuales se fabrican soldando vigas de diferentes tamaños, lo cual conlleva a un resultado óptimo en el diseño de elementos mixtos.

Las vigas principales son aquellas sobre las que se apoyan las vigas secundarias. Su cálculo y dimensionado se atiende según las normas de estructura metálica (Eurocódigo 3 y/o DB-SE-A) y no son objeto del presente trabajo.

3.1.9 Ensayos

Para obtener los datos que permiten determinar la resistencia a rasante de un forjado mixto hay que realizar ensayos a escala natural con distintos valores para los parámetros objeto de investigación: tipo, espesor y protección de la chapa, tipo de armaduras, espesor de la losa, densidad y clase de hormigón y longitud de cortante L_s . Para reducir el número de ensayos los resultados de una serie se pueden aceptar también:

- Para espesores de chapa t mayores que el ensayado.
- Para espesores de losa h_t menores que el ensayado.
- Para hormigón de resistencia característica $f_{ck} \geq 0,8 \cdot f_{cm}$, siendo f_{cm} el valor medio de la resistencia en los ensayos.
- Para chapas con límite elástico $f_{yp} \geq 0,8 \cdot f_{ym}$, siendo f_{ym} el valor medio para la chapa ensayada.

Los ensayos se realizan según el esquema de la figura 3-29, aplicando sobre el forjado simplemente apoyado dos acciones lineales, iguales y simétricas, a $L/4$ y $3L/4$. Se determina el modo de rotura y los diagramas carga-flecha y carga-deslizamiento. El modo de rotura podrá ser uno de los tres descritos en el apartado 3-2, pero como el propósito es obtener la resistencia a rasante. Los resultados sólo se utilizan en el cálculo si la rotura se producen en la región I-II, por rasante con un deslizamiento k entre chapa y hormigón en los extremos para una sollicitación menor que la resistencia a flexión (la ausencia de deslizamiento corresponde a conexión completa que produce rotura por flexión).

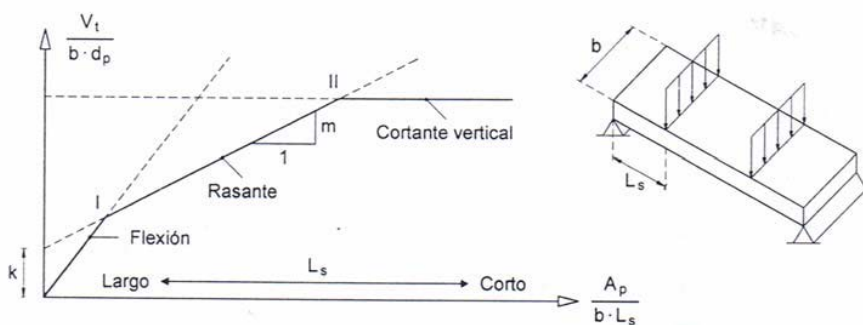


Figura 3-12: Esquema para la realización de ensayos (tomada de [5])

De esta gráfica se obtienen los coeficientes m y k (apartado 3.4.4.1), con el criterio que se expone a continuación, y la resistencia a rasante $\tau_{u,Rd}$ en la interfaz acero-hormigón como se ha indicado en el método de la conexión parcial (apartado 3.4.4.2); m y k corresponden a la resistencia a rasante, figura 3-30, ajustada por una recta a partir de los valores característicos de los grupos A y B (de tres ensayos cada uno. Como valor de un grupo se adopta el menor reducido en un 10%) corregidos de la forma:

- Se considera comportamiento dúctil si la carga de rotura supera en más del 10% a la que provoca un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo. Cuando la carga máxima se alcanza con una flecha $> L/50$, se adopta como valor de rotura la que produce esta flecha.

- En caso contrario, se considera rotura frágil.

- Si el comportamiento es dúctil, el cortante V_t se adopta 0,5 veces la carga de rotura W_t (incluye la aplicada más el peso del forjado y las vigas de reparto para el ensayo).
- En comportamiento frágil el valor anterior se reduce por 0,8.

La validez de estos ensayos queda limitada por la condición de que la desviación del resultado de cualquier ensayo con respecto a la media del grupo no supere el 10%.

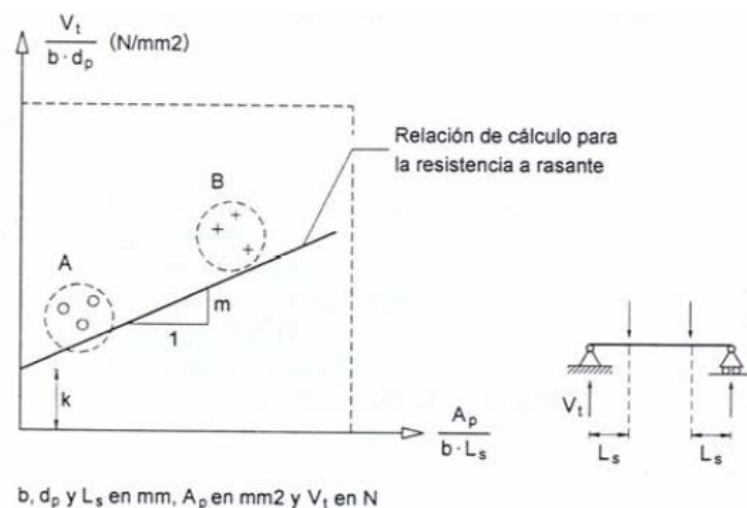


Figura 3-13: Ajuste de los valores obtenidos por una recta (tomada de [10])

Todas las características relativas a la disposición de los ensayos, preparación de las probetas y forma de carga están definidas en el Anejo B del Eurocódigo 4. En él se distingue entre ensayos paramétricos, que proporcionan datos de carácter general para el proceso de cálculo y son los que se explican aquí, y ensayos específicos, realizados sobre un elemento construido “in situ” a tamaño natural representativo de una disposición particular propuesta para un forjado con carga real o una aproximación a ella. Los resultados de éstos últimos sólo son aplicables a piezas de características similares a las del ensayo.

3.1.10 Diagrama de flujo para el cálculo de un forjado mixto de chapa colaborante

En el Anexo 8 se muestra un diagrama de flujo que ilustra el proceso de diseño de un forjado mixto desde los principios básicos, siguiendo la metodología explicada en el presente capítulo de comprobación y dimensionamiento. Los forjados mixtos se diseñan usualmente utilizando tablas publicadas por los fabricantes de chapas de acero, cuyo manejo es muy sencillo. No obstante, estas tablas no eximen de la comprobación de este tipo de forjados en el caso de encontrarse con alguna particularidad, por ejemplo, algo tan común como los voladizos.

3.2 Normativa acústica conforme al Documento Básico Protección frente al ruido

Para la determinación de las propiedades acústicas que deben cumplir los forjados de chapa colaborante, el presente trabajo se ha de introducir inicialmente en el Documento Básico ``Protección Frente al Ruido`` DB-HR del Código Técnico de la Edificación. Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido si se realiza una correcta aplicación.

3.2.1 Factores condicionantes previos

3.2.1.1 Ámbito de aplicación

Tanto el objetivo del requisito básico "Protección frente al ruido", como las exigencias básicas se establecen en el artículo 14 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación y son los siguientes:

Artículo 14. Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)

El objetivo del requisito básico "Protección frente al ruido" consiste en limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los recintos. [11]

Aunque el ámbito de aplicación de este DB es el que se establece con carácter general para el CTE, en su artículo 2 (Parte I) se exceptúan varios casos reflejados en el apartado d):

d) las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación en los edificios existentes, salvo cuando se trate de rehabilitación integral. Asimismo quedan excluidas las obras de rehabilitación integral de los edificios protegidos oficialmente en razón de su catalogación, como bienes de interés cultural, cuando el cumplimiento de las exigencias suponga alterar la configuración de su fachada o su distribución o acabado interior, de modo incompatible con la conservación de dichos edificios. [11]

Por tanto, las obras de reforma no integral habituales en edificios históricos, por sus características y por las normas sobre conservación estructural, no están sujetas al cumplimiento de las exigencias de la normativa. Pero, en este proyecto vamos a adaptar nuestro edificio en todos sus sistemas constructivos salvo las fachadas, y por tanto nos encontraremos ante una rehabilitación integral, actuación que implica el cumplimiento de las exigencias del DB-HR, reforma o rehabilitación completa dentro de la normativa.

3.2.1.2 Elementos de separación según el DB-HR y unidades de uso

El DB-HR define Unidad de uso como edificio o parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre, sí bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad. En cualquier caso, se consideran unidades de uso, las siguientes:

- en edificios de vivienda, cada una de las viviendas;*
- en edificios de uso hospitalario, y residencial público, cada habitación incluidos sus anexos;*
- en edificios docentes, cada aula o sala de conferencias incluyendo sus anexos; [11]*

Asimismo, los elementos de separación son los elementos o particiones que separan tanto horizontal como verticalmente a los diferentes recintos entre ellos o con el exterior. El DB-HR define básicamente dos tipos de elementos:

a) Elementos de separación horizontal (ESH).

Los elementos de separación horizontales (ESH) son aquellas particiones horizontales que separan una unidad de uso de cualquier otro recinto del edificio. Los ESH están formados por el forjado, el suelo flotante encima del forjado y, en algunos casos, el techo suspendido debajo del forjado. En la siguiente imagen se puede observar la estructura de los ESH

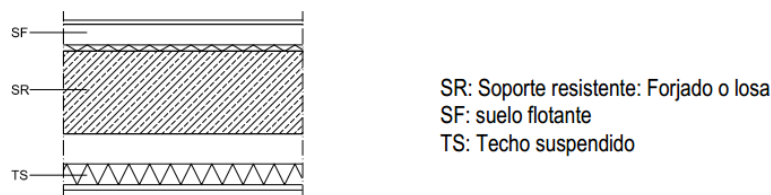


Figura 3-14: Componente de los elementos de separación horizontal (tomada de [11])

El suelo flotante es un sistema constructivo formado por un material aislante de ruido de impactos, un soporte del acabado y el acabado. Se instala encima del forjado.

El techo aislante suspendido consiste en un sistema constructivo que se instala en la parte inferior del forjado. Está formado por una cámara de aire, un aislante que suele ser de lana mineral y una placa o varias de yeso laminado o de escayola.

Los techos acústicos absorbentes son sistemas constructivos utilizados principalmente para mejorar el acondicionamiento de un recinto y así reducir su tiempo de reverberación. Consiste en instalar un revestimiento interior al techo suspendido (fibras de madera, lana mineral o yeso perforado sobre todo). Este techo suspendido estará formado por una cámara y un material absorbente acústico (lana mineral o velo de fibras).

b) Elementos de separación vertical (ESV).

Los elementos de separación verticales (ESV) son aquellas particiones verticales que separan una unidad de uso de cualquier recinto del edificio o que separan recintos de dicho edificio. Existen tres tipos de elementos de separación vertical genéricos según el DB-HR:

- Tipo 1: Elementos mixtos. Elementos compuestos por un elemento base acústicamente homogéneo de una o dos hojas de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados (Eb), sin un trasdosado o con un trasdosado por ambas caras (Tr).
- Tipo 2: Elementos de fábrica con bandas elásticas. Elementos de dos hojas de fábrica o paneles prefabricados pesados (Eb), con bandas elásticas en su perímetro dispuestas en los encuentros de, al menos, una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y fachadas y otros elementos de separación vertical. En todos los elementos de dos hojas, la cámara debe ir rellena con un material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones.
- Tipo 3: Elementos de entramado. Elementos formados por placas de yeso laminado y anclados a una estructura metálica autoportante (Ee).

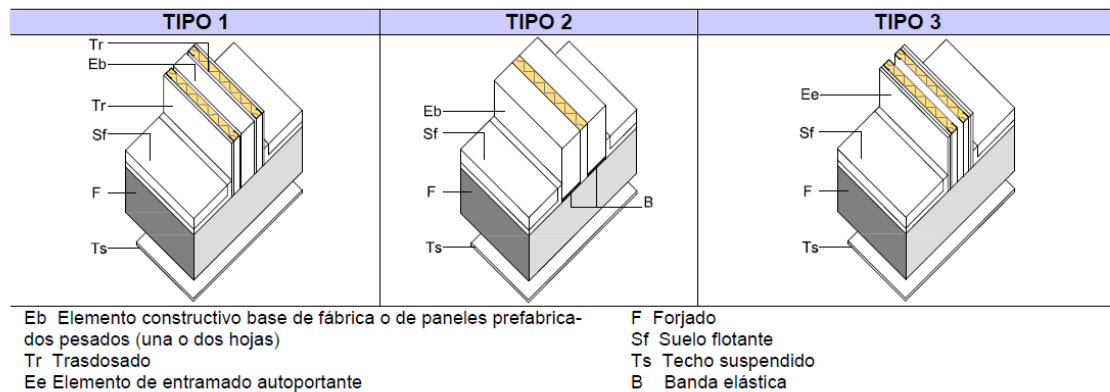


Figura 3-15: Tipos de ESV (tomada de [11])

c) La tabiquería.

Que está formada por el conjunto de particiones interiores de una misma unidad de uso pudiendo contemplarse:

- Tabiquería de fábrica o paneles prefabricados pesados con apoyo directo en el forjado.
- Tabiquería de fábrica o de paneles prefabricados pesados con bandas elásticas dispuestas al menos en los encuentros inferiores con los forjados, o apoyada sobre el suelo flotante.
- Tabiquería de entramado autoportante.

d) Fachadas y medianeras.

Son las soluciones de elementos de separación con el exterior o con otros edificios de forma vertical. Las tipologías más usuales están formadas por:

- Una hoja de fábrica o no de hormigón.
- Dos hojas: ventiladas y no ventiladas:
 - Con hoja exterior que puede ser pesada (fábrica u hormigón) o ligera (elementos prefabricados ligeros como panel sándwich o GRC).
 - Con una hoja interior que puede ser de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados, ya sea con apoyo directo en el forjado, en el suelo flotante o con bandas elásticas o de entramado autoportante.

3.2.1.3 Tipos de recintos.

Respecto a la nueva terminología introducida, el DB-HR diferencia los siguientes tipos de recintos en edificación:

Recinto de actividad	Aquellos recintos, en los edificios de uso residencial (público y privado), hospitalario o administrativo, en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dBA. Por ejemplo, actividad comercial, de pública concurrencia, etc. A partir de 80 dBA se considera recinto ruidoso. Todos los aparcamientos se consideran recintos de actividad respecto a cualquier uso salvo privados.	
Recinto de instalaciones	Recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, entendiendo como tales, todo equipamiento o instalación susceptible de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. El recinto del ascensor no se considera un recinto de instalaciones a menos que la maquinaria esté dentro del mismo.	
Recinto habitable	Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones adecuadas: a) habitaciones y estancias edificios residenciales; b) aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente; c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario; d) oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo; e) cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras, en edificios de cualquier uso.	
Recinto protegido	Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los casos a), b), c), d).	
Recinto ruidoso	Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, en el interior del recinto, mayor que 80 dBA.	

Tabla 3-6: Tipos de recintos por clasificación acústica [11]

En este contexto se establece un tratamiento acústico especial a los recintos protegidos (exigiendo para ellos mayores niveles de protección acústica respecto al ruido generado los recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso), debiendo dimensionarse los elementos de separación horizontal y vertical para el cumplimiento de los requisitos establecidos.

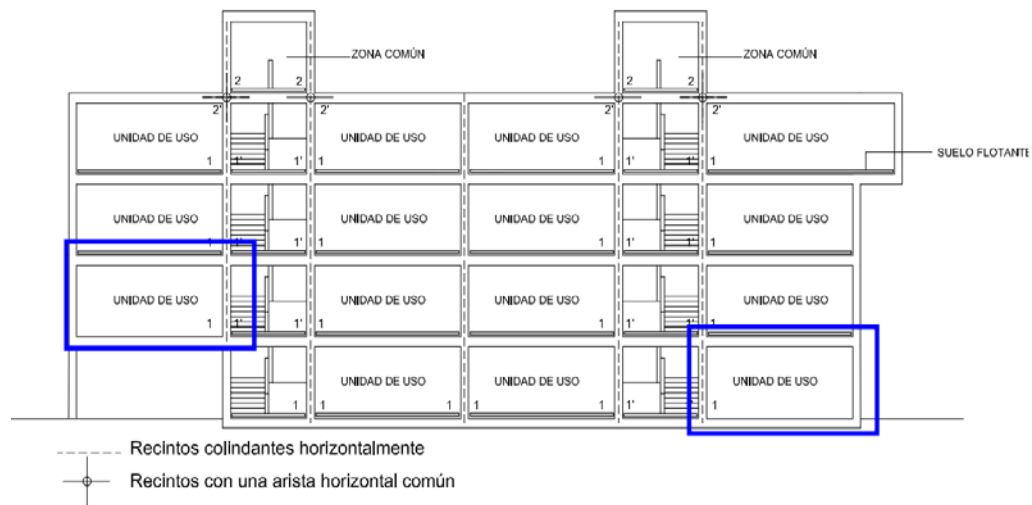


Figura 3-16: Ejemplo de unidad de uso (tomada de [17])

3.2.1.4 El problema de la reverberación

Si la energía acústica reflejada tarda mucho en extinguirse o en hacerse inaudible, las nuevas palabras o los nuevos sonidos se mezclan con los anteriores que aún no extinguieron, lo cual genera una mala inteligibilidad y, por tanto, un deficiente confort acústico. En este sentido, se define tiempo de reverberación (Tr) a una frecuencia determinada como el tiempo en segundos que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora desciende 60 dB con respecto a su valor inicial.

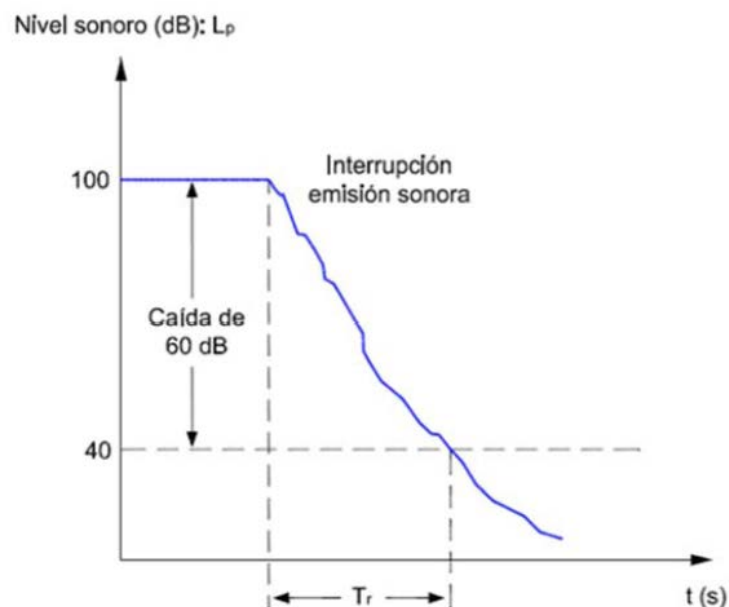


Figura 3-17: Gráfico del tiempo de reverberación (tomada de [14])

Se trata de un valor físico utilizado para describir el comportamiento acústico de los recintos de todo tipo, y que permite comparar y prever su respuesta ante los sonidos generados en ellos. En este

contexto, con el empleo de materiales absorbentes se consigue reducir la energía acústica reflejada en un recinto, y por tanto disminuir o adecuar su tiempo de reverberación de cara a una mayor nitidez en la percepción sonora en función del uso.

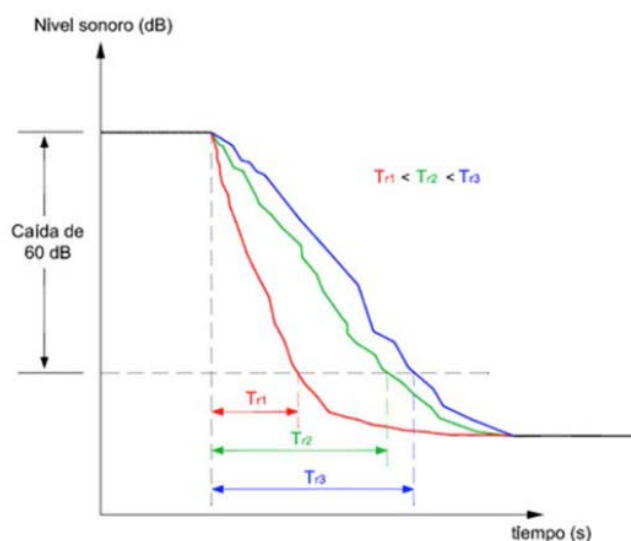


Figura 3-18: Gráfico que muestra la caída del tiempo de reverberación con la absorción (tomada de [14])

El Documento Básico de Protección frente al ruido, introduce la necesidad de adecuar los tiempos de reverberación de aulas y salas de conferencias (de volumen inferior a 350 m³), y de restaurantes y comedores, estableciendo unos tiempos de reverberación máximos que no se han de superar.

Así, para poder garantizar la adecuación respecto al DB-HR, los acabados superficiales y los revestimientos que delimitan la zona común de un edificio residencial público, docente y hospitalario han de proporcionar una absorción acústica mínima que permita reducir los niveles sonoros que se transmiten a los recintos protegidos contiguos con los que compartan puertas.

Algunos procedimientos para poder actuar en el ámbito de la reverberación son los revestimientos acústicos y los techos suspendidos con cámaras interiores.

Según el DB-HR, se deben aplicar revestimientos con materiales absorbentes para conseguir un tiempo de reverberación menor o igual a 0,7 segundos en aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea inferior a 350 m³, o bien un tiempo de reverberación menor o igual a 0,5 segundos sin ocupación pero con butacas. Además se han de emplear elementos absorbentes para reducir los niveles de ruido en restaurantes y comedores, de cara a conseguir un tiempo de reverberación menor o igual a 0,9 segundos.

Los techos acústicos absorbentes son sistemas constructivos utilizados principalmente para mejorar el acondicionamiento de un recinto y así reducir su tiempo de reverberación. Consiste en un techo suspendido formado por una cámara respecto al forjado superior y un material absorbente acústico (lana mineral o velo de fibras) en ella.

3.2.2 Valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo

Los elementos constructivos interiores de separación, así como las fachadas, las cubiertas, las medianerías y los suelos en contacto con el aire exterior que conforman cada recinto de un edificio deben tener, en conjunción con los elementos constructivos adyacentes, unas características tales que se cumpla:

a) En los recintos protegidos:

- El índice global de reducción acústica R_A , de la tabiquería, no será menor que 33 dBA.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{nT,A}$, entre un recinto protegido y cualquier otro recinto habitable o protegido del edificio no perteneciente a la misma unidad de uso y que no sea recinto de instalaciones o de actividad, colindante vertical u horizontalmente con él, no será menor que 50 dBA, siempre que no compartan puertas o ventanas. Cuando sí las compartan, el índice global de reducción acústica de las puertas no será menor que 30 dBA y el del cerramiento no será menor que 50 dBA.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{nT,A}$, entre un recinto protegido y un recinto de instalaciones, colindante vertical u horizontalmente con él, no será menor que 55 dBA.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre un recinto protegido y el exterior no será menor que los valores indicados en la tabla 3-8, en función del uso del edificio y de los valores del índice de ruido día, L_d , definido en el Anexo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, de la zona donde se ubica el edificio

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

Tabla 3-7: Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo en dBA entre un recinto protegido y el exterior (tomada de [11])

El valor del índice de ruido día, L_d , puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido. En el caso de que un recinto pueda estar expuesto a varios valores de L_d , como por ejemplo un recinto en esquina, se adoptará el mayor valor.

Cuando no se disponga de datos oficiales del valor del índice de ruido día, L_d , se aplicará el valor de 60 dBA para el tipo de área acústica relativo a sectores de territorio con predominio de suelo de uso residencial. Para el resto de áreas acústicas, se aplicará lo dispuesto en las normas reglamentarias de desarrollo de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Cuando se prevea que algunas fachadas, tales como fachadas de patios de manzana cerrados o patios interiores, así como fachadas exteriores en zonas o entornos tranquilos, no van a estar expuestas directamente al ruido de automóviles, aeronaves, de actividades industriales, comerciales o deportivas, se considerará un índice de ruido día, L_d , 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.

Cuando en la zona donde se ubique el edificio el ruido exterior dominante sea el de aeronaves según se establezca en los mapas de ruido correspondientes, el valor de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, obtenido en la tabla anterior se incrementará en 4 dBA.

b) En los recintos habitables:

- En edificios de uso residencial privado el índice global de reducción acústica, de la tabiquería no será menor que 33 dBA.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{nT,A}$, entre un recinto habitable y cualquier otro recinto habitable o protegido del edificio no perteneciente a la misma unidad de uso no será menor que 45

dBA, siempre que no compartan puertas o ventanas. Cuando sí las compartan y sean edificios de uso residencial u hospitalario, el índice global de reducción acústica, R_A , de éstas no será menor que 20 dBA y el del cerramiento no será menor que 50 dBA.

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{nT,A}$, entre un recinto habitable y un recinto de instalaciones, colindantes vertical u horizontalmente con él, siempre que no compartan puertas, no será menor que 45 dBA. Cuando sí las compartan no será menor que 30 dBA y el, del cerramiento no será menor que 50 dBA.

c) En los recintos habitables y recintos protegidos colindantes con otros edificios:

El aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{2m,nT,Atr}$) de cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios no será menor que 40 dBA o alternativamente el aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{nT,A}$) correspondiente al conjunto de los dos cerramientos no será menor que 50 dBA.

3.2.3 Valores límite de aislamiento acústico a ruido de impacto

Los elementos constructivos de separación horizontales deben tener, en conjunción con los elementos constructivos adyacentes, unas características tales que se cumpla:

a) En los recintos protegidos:

- El nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, en un recinto protegido colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con cualquier otro recinto habitable o protegido del edificio, no perteneciente a la misma unidad de uso no será mayor que 65 dB. Esta exigencia no es de aplicación en el caso de recintos protegidos colindantes con una escalera.

- El nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, en un recinto protegido colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con un recinto de actividad o con un recinto de instalaciones no será mayor que 60 dB.

b) En los recintos habitables:

- El nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, en un recinto habitable colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con un recinto de actividad o con un recinto de instalaciones no será mayor que 60 dB.

3.2.4 Estimación del índice del índice de ponderación acústica R_A

Normalmente este índice lo ha de aportar el fabricante del producto mediante ensayo en laboratorio. Si no disponemos de datos tabulados para el elemento en cuestión, utilizamos las expresiones indicadas en el DB-HR, que determinan el aislamiento R_A en función de la masa por unidad de superficie, m , expresada en kg/m^2 :

$$m \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 16,6 \cdot \lg(m) + 5 \text{ [dBA]}$$

$$m \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 36,5 \cdot \lg(m) - 38,5 \text{ [dBA]}$$

3.2.5 Realización de un proyecto acústico

El DB-HR establece dos opciones para realizar un proyecto acústico en relación al diseño y dimensionado de los posibles elementos constructivos que, junto con el cumplimiento de las prescripciones establecidas para la ejecución y construcción, permiten satisfacer los aislamientos pedidos, tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto:

- Opción simplificada:

Opción basada en tablas, que proporciona de modo sencillo los parámetros mínimos necesarios que han de poseer los elementos constructivos para ser empleados en las diversas situaciones y que, junto con el resto de condiciones establecidas en el DB-HR, darán conformidad a las exigencias de aislamientos tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto.

Esta opción aporta una variedad de soluciones constructivas genéricas a partir de sus características acústicas mínimas. Una vez conocidas y seleccionadas las características mínimas necesarias se han de particularizar dichas soluciones genéricas eligiendo elementos constructivos reales concretos que posean tales propiedades: a partir de datos de ensayos en laboratorio, de tabulaciones incluidas en Documentos Reconocidos del CTE u otros métodos de cálculo sancionados por la práctica. Se ha de destacar, en este sentido, como Documento Reconocido, de modo prioritario, el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, concebido como un instrumento de ayuda para el proyectista.

Por tanto mediante esta opción no se indican sistemas reales a emplear, sino sus características mínimas necesarias: densidad superficial m (Kg/m^2), índice de aislamiento acústico a ruido aéreo R_A (dBA), incremento en el aislamiento a ruido aéreo ΔR_A (dBA) y reducción del nivel de ruido de impacto ΔL_w (dB). Esta opción es válida para edificios de cualquier uso.

- Opción general:

Esta opción permite comprobar si las soluciones constructivas concretas que se pretenden ejecutar satisfacen los requisitos establecidos. Para ello se aplica un procedimiento de cálculo (basado en el modelo simplificado para la transmisión acústica estructural de la norma UNE EN 12354 partes 1, 2 y 3) que tiene en cuenta que la transmisión acústica entre dos recintos contiguos o a un recinto desde el exterior se produce por vía directa y por caminos estructurales indirectos o de flancos.

En este caso, se ha de proceder a comprobar, separadamente para parejas de recintos descriptores de las diferentes situaciones posibles de la edificación (distintas unidades de uso, unidad de uso y recinto de instalaciones, unidad de uso y recinto de actividad...), si las soluciones constructivas que deseamos ejecutar proporcionan el aislamiento acústico requerido entre ambos recintos. Por tanto se obtiene, al final del cálculo, al aislamiento cuantificado con la magnitud acústica que define la exigencia: $D_{nT,A}$ para el aislamiento a ruido aéreo entre recintos, $L'_{nT,w}$ para el nivel de ruido de impacto y $D_{2m,nT,Atr}$ para el aislamiento a ruido aéreo respecto al exterior.

En el proceso se emplean, entre otros factores condicionantes, datos acústicos de aislamiento (que se pueden obtener a partir de ensayos en laboratorio, mediante tabulaciones incluidas en Documentos Reconocidos del CTE o mediante otros métodos de cálculo sancionados por la práctica), características geométricas de los recintos y formas de encuentro entre los elementos constructivos empleados.

3.3 Comportamiento térmico del forjado colaborante

3.3.1 Factores condicionantes previos

El cumplimiento normativo que hemos de evaluar en este TFG está definido por el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), el cual tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía. Las secciones de este Documento Básico se corresponden con las exigencias básicas HE 1 a HE 5. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del Documento Básico supone que se satisface el requisito básico "Ahorro de energía".

Tanto el objetivo del requisito básico "Ahorro de energía", como las exigencias básicas se establecen en el artículo 15 de la Parte I del CTE y son los siguientes:

Artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

i) El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

ii) Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

iii) El Documento Básico "DB HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

Resulta especialmente importante la exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética, donde se expresa:

Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos. [15]

Por otra parte, el DB-HE especifica que:

Para la correcta aplicación de esta Sección deben realizarse las verificaciones siguientes en el proyecto. Se optará por uno de los dos procedimientos alternativos de comprobación siguientes:

- Opción simplificada: basada en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límites permitidos. Esta opción podrá aplicarse a obras de edificación de nueva construcción que cumplan los requisitos especificados en el apartado 3.2.1.2 y a obras de rehabilitación de edificios existentes.

- Opción general: basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción. Esta opción podrá aplicarse a todos los edificios que cumplan los requisitos especificados en 3.3.1.2.

En ambas opciones se limita la presencia de condensaciones en la superficie y en el interior de los cerramientos y se limitan las pérdidas energéticas debidas a las infiltraciones de aire, para unas condiciones normales de utilización de los edificios. Esta exigencia, no es objeto de estudio en el presente proyecto.

3.3.2 Demanda energética

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida en el apartado 3.1.1, y de la carga interna en sus espacios según el apartado 3.1.2. del DB-HE.

La demanda energética debe resultar inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica sean los valores límites establecidos en el Anexo IX para las zonas climáticas, aunque también pueden definirse por antecedentes climáticos.

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 3-15 en función de la zona climática en la que se ubique el edificio. Aun así, en el DB-HE tendremos mejor definidos en su apartado HE-1 las subzonas dentro de cada zona principal para mayor exactitud de cálculo.

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado.

Figura 3-19: Transmitancia térmica máxima en cerramientos y particiones interiores (tomada de [15])

En edificios de viviendas, las particiones interiores que limitan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en el proyecto, con las zonas comunes del edificio no calefactadas, tendrán cada una de ellas una transmitancia no superior a 1,2 W/m²K.

3.3.3 Cerramiento en contacto con el aire exterior

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior. De la misma forma se calcularán los puentes térmicos integrados en los citados cerramientos cuya superficie sea superior a 0,5 m², despreciándose en este caso los efectos multidimensionales del flujo de calor.

La transmitancia térmica U (W/m²K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

- R_T la resistencia térmica total del componente constructivo [m² K/ W], constituido por capas térmicamente homogéneas, debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

En caso de ser capas diferentes:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

- $R_1, R_2, \dots, R_n$ las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión en $[m^2 K/W]$

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

- e es el espesor de la capa (m), para espesor variable tomar espesor medio.

- λ es la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos, $[W/m K]$. Siendo los más utilizados:

	Material	Lambda
Materiales generales de construcción	Acero (carbon)	36-54
	Hormigón armado (aglomerado de hormigón/piedra 2400 kg/m³)	1.70-1.80
	Pared de clinker	1.05-1.15
	Pared de silicato	1.00-1.10
	Cristal	0.8-1.10
	Hormigón (aglomerado de arcilla expandida 1400 kg/m³)	0.72-0.80
	Agua	0.6
Materiales de aislamiento	Vidrio multicelular	0.05-0.07
	Lana mineral de vidrio	0.030-0.045
	Lana de roca	0.032-0.045
	EPS	0.032-0.045
	XPS	0.029-0.040
	PUR/PIR	0.022-0.035
	Aerogeles	0.003-0.010
Aire	Aire	0.026

Tabla 3-8: Valores de la conductividad de los materiales más comunes (tomada de [16])

- R_{si} y R_{se} son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla siguiente de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio $[m^2 K/W]$.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal 	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente 	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente 	0,04	0,17

Tabla 3-9: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior (tomada de [15])

Por otro lado, las cámaras de aire también actuarán con una resistencia térmica. Y sus valores son aplicables cuando la cámara:

- Esté limitada por dos superficies paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección del flujo de calor y cuyas emisividades sean superiores a 0,8.
- Tengan un espesor menor a 0,1 veces cada una de las otras dos dimensiones y no mayor a 0,3 m.
- No tenga intercambio de aire con el ambiente interior.

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tabla 3-10: Resistencias térmicas de cámaras de aire (tomada de [15])

3.3.4 Cerramiento en contacto con el terreno

La transmitancia térmica U_s (W/m^2K) se obtendrá en función del ancho, D , de la banda de aislamiento perimétrico, de la resistencia térmica del aislante, R_a , calculada mediante la expresión de la resistencia térmica de la capa, R , y la longitud característica, B' , de la solera o losa.

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P}$$

Siendo:

- P la longitud del perímetro de la solera [m].
- A el área de la solera [m^2].

B'	R _a	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
	R _a (m ² K/W)	R _a (m ² K/W)					R _a (m ² K/W)					R _a (m ² K/W)				
0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Tabla 3-11: Transmitancia de la solera (tomada de [13])

Para espacios habitables como sótanos enterrados más de 0,5m bajo el terreno habrá que usar otras especificaciones.

3.3.5 Muros en contacto con el terreno

La transmitancia térmica U_T (W/m^2K) de los muros o pantallas en contacto con el terreno se obtendrá en función de su profundidad z , y de la resistencia térmica del muro R_m calculada mediante la expresión de su resistencia total, despreciando las resistencias térmicas superficiales.

R_m ($m^2 K/W$)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Tabla 3-12: Transmitancia de muros en contacto con el terreno (tomada de [15])

3.3.6 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables

Esta situación viene definida por la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b$$

Siendo:

- U_p la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según el primer apartado, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 3-11 [$W/m^2 K$].

- b el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido por la tabla siguiente para los casos concretos que se citan o mediante el procedimiento descrito.

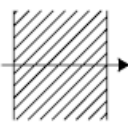
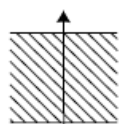
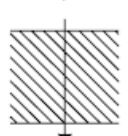
Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente		0,17	0,17

Tabla 3-13: Resistencia térmicas superficiales para particiones interiores (tomada de [15])

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

En el presente apartado se aplica, a modo de ejemplo, el forjado mediante chapa colaborante en la reforma de un edificio de la Armada que realmente necesita una rehabilitación. En este sentido, la edificación seleccionada ha sido el Penal de Cuatro Torres, situado en el Arsenal de la Carraca en San Fernando (Cádiz), debido a su valor histórico y su emplazamiento; ya que se encuentra en una ciudad con antecedentes siempre ligados a la Marina Española, tanto en el pasado como en la actualidad, y además, es la ciudad natal del autor de este TFG (de la cual se siente siempre orgulloso).

4.1 Antecedentes, emplazamiento y estado actual del edificio

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.

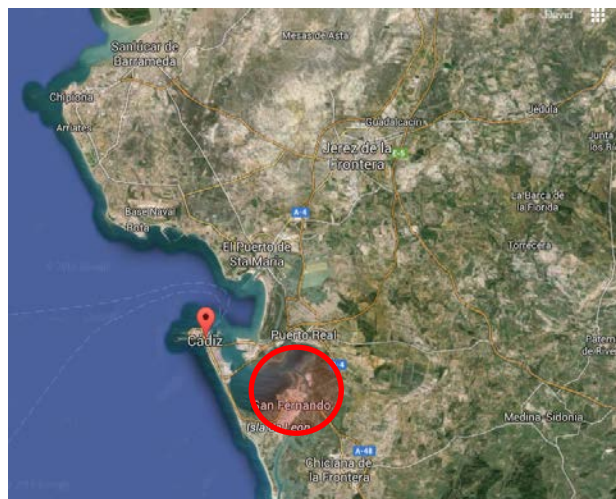


Figura 4-1: Vista provincial, situación (tomada de [6])



Figura 4-2: Situación del Arsenal de la Carraca en relación a la Bahía de Cádiz (tomada de [6])



Figura 4-3: Situación del Penal de Cuatro Torres en relación al Arsenal de la Carraca (tomada de [6])

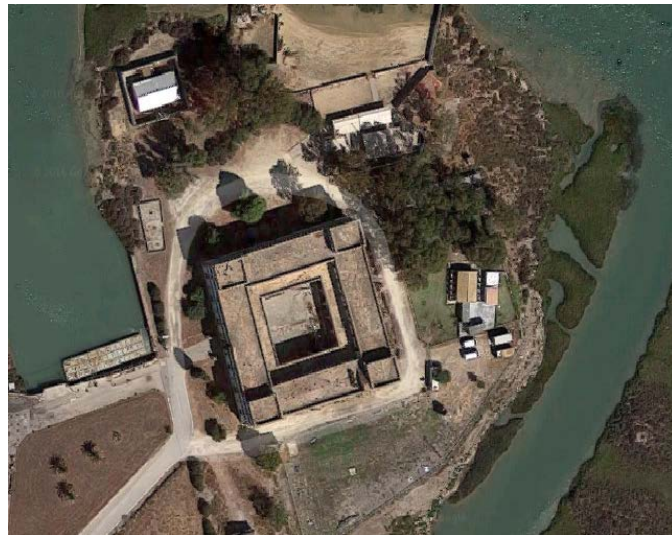


Figura 4-4: Imagen aérea del Penal en su estado actual (tomada de [6])

El Penal fue construido algunos años después que el Arsenal, a mediados del siglo XVIII. En esta prisión estuvo preso Francisco de Miranda, quien murió el 14 de julio de 1816 a los 66 años de edad (celebrando en este año 2016 su bicentenario); víctima de un ataque cerebrovascular, complicado con fiebres altas, escorbuto y hemorragia bronquial. Miranda fue héroe insigne de la Revolución Francesa y de las independencias norte y suramericanas; además, su nombre está ligado a la autoría de la bandera tricolor que hoy identifica a Venezuela.



Figura 4-5: Óleo de los últimos días de Miranda en prisión en San Fernando (tomada de [19])

Resulta importante indicar que reformando edificios de estas características la Armada puede, evidentemente otorgarle un uso más eficiente y, a su vez, volver a alzar su presencia en estas localidades que, lentamente va desapareciendo al donar sus terrenos al ayuntamiento y pasando a ser propiedad pública. Aunque se encuentre dentro del Arsenal y su uso esté limitado a un ambiente militar, intentaremos que la reforma permita una actividad realmente práctica en la actualidad para la zona en la que se encuentra.

Según el proyecto objeto de este estudio, y a modo de ejemplo de aplicación, de este edificio se conservará únicamente la fachada (aunque se intentará mantener la estructura original en la medida de lo posible para que siga manteniendo su valor histórico y sus orígenes). Principalmente, como factores condicionantes, se mantendrá la estructura de las plantas, aunque se ganará más espacio al aprovechar la antigua terraza orientada al patio interior de la cárcel, el cual no se modificará para así dar luz a la zona interior y además, como se indicó anteriormente, conservarlo de la manera más fiel posible a lo que fue en el pasado.



Figura 4-6: Fachada principal del antiguo edificio del Penal de Cuatro Torres (tomada de [20])

El nuevo uso que le otorgaremos al edificio será el de residencial privado y administrativo para el personal de la zona; contando, además, con nuevas instalaciones como biblioteca, gimnasio o salas de conferencias. Hemos decidido esta nueva tipología de edificación al resultar en la práctica mucho más eficiente que mantenerlo como prisión, y así poder recoger más carga de trabajo en la zona y convertirla en más útil e importante para la Armada.

El antiguo edificio, como se muestra en los planos del Anexo X, contaba con grandes superficies para acomodar a un elevado número de personas en un mismo recinto. Así, se pueden apreciar además grandes espacios con techos altos (como antiguamente se disponían para mayor ventilación). Los comedores y dormitorio eran corridos y de gran tamaño, las duchas conjuntas y sin separación para hombres y mujeres, contaba con diferenciación para distintos grados militares y con una guardia permanente en el edificio.



Figura 4-7: Dormitorios antiguo Penal Cuatro Torres (tomada de [20])

El Penal de Cuatro Torres poseía un patio interior para otorgar un poco de libertad a los presos y que tuviesen una zona de esparcimiento; este patio contaba con una terraza sobre columnas desde la que los reos eran vigilados en estas condiciones.



Figura 4-8: Patio Antiguo Penal Cuatro Torres (tomada de [20])

Como se puede apreciar en las imágenes, existe una entreplanta que reconvertiremos para poder aprovechar mejor los espacios. En el estudio, a modo de ejemplo del presente TFG, se suprimirá la terraza y en ella se proyectará una superficie útil de estancia para aportar más espacio en la planta superior; además, las torres se aprovecharán para alojar todas las instalaciones necesarias del edificio.



Figura 4-9: Fachada lateral Penal Cuatro torres, apreciación entreplanta (tomada de [20])

Según los planos conservados en el Arsenal de la Carraca, las dimensiones actuales del edificio son las siguientes:

<u>SUPERFICIES CONSTRUIDAS</u>	
<i>PLANTA BAJA</i>	
- INTERIOR	1.637,68 m ²
- CLAUSTRO	485,04 m ²
- PATIO	445,21 m ²
	2.567,93 m ²
<i>PLANTA INTERMEDIA</i>	
- IZQUIERDA	57,62 m ²
- DERECHA	57,62 m ²
	115,24 m ²
<i>PLANTA PRIMERA</i>	
- INTERIOR	1.637,68 m ²
- AZOTEA	485,04 m ²
<i>PLANTA SEGUNDA</i>	
- TORRES	400,00 m ²
INTERIORES	4.275,64 m ²
PATIO 50%	222,60 m ²
	4.498,24 m ²

Figura 4-10: Dimensiones actuales del Penal de Cuatro Torres [20]

4.2 La reforma estructural

Conviene indicar que no consideramos necesario realizar cálculos relativos a las características técnicas del forjado que proyectamos, pues utilizaremos el producto de un fabricante que nos aporta todos los valores de resistencia estructural del mismo con mayor exactitud, datos generados teóricamente y mediante ensayos en laboratorio, como se explicó en el Apartado 3, relativo a la normativa de este TFG. Todas las características del forjado de chapa colaborante proyectado (perfil INCO70.4 Colaborante) vienen recogidas en el Anexo XI.

Además, incluiremos en este apartado la nueva distribución que proponemos en nuestro proyecto para el edificio del Penal de Cuatro torres, el cual proponemos como edificio residencial y de oficinas.

4.2.1 Características generales del edificio

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:

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	

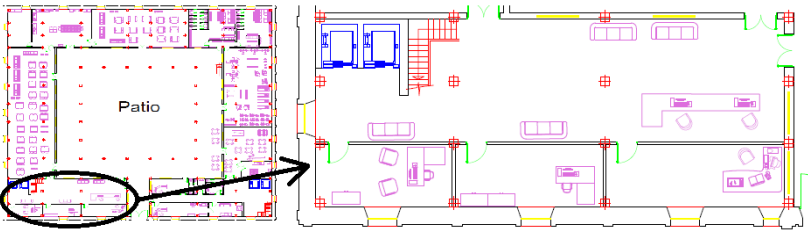
Tabla 4-1: Distribución nueva planta residencial

Las habitaciones se proyectan como en estudios individuales o con varias plazas. Cada alojamiento tendrá una autonomía y flexibilidad de funcionamiento con cama y baño; además, ninguno deberá poseer una superficie inferior a 15 m² por cada cama.

En nuestro proyecto, la nueva distribución por planta se refleja según los planos del Anexo XII y con las siguientes dimensiones (planta útil del edificio), conservando las medidas del patio y de la entrada:

a) Para la planta baja:

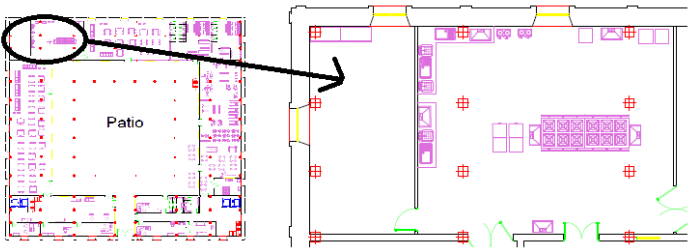
- Recepción y oficinas del personal residencia:



Recepción: 129,34m²
Oficinas: (19,5) (21) (25,5) m²

Figura 4-11: Proyecto, recepción y oficinas de personal

- Cocina y almacén:



Cocina: 97,9m²
Almacén: 40,05m²

Figura 4-12: Cocina y almacén

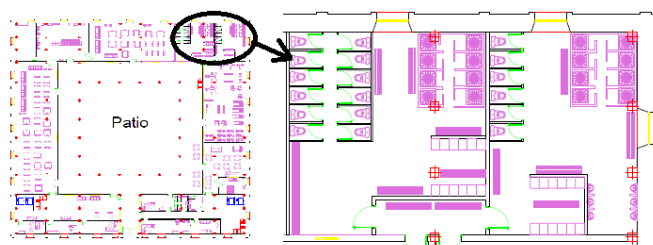
- Comedores:



Comedor trabajadores: 160,2m²
Comedor residentes: 264,48m²

Figura 4-13: Proyecto, comedores

- Vestuarios:



Masculino: 68,64m²
Femenino: 70,23m²

Figura 4-14: Proyecto, vestuarios

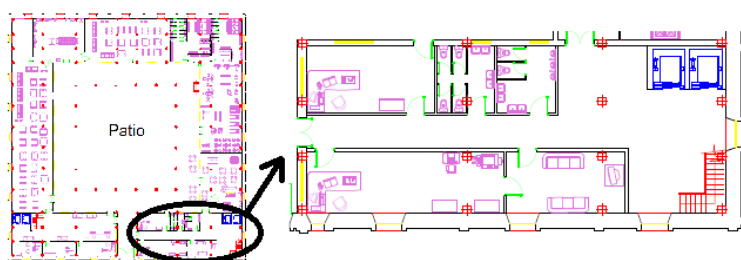
- Cafetería:



Salón cafetería: 82,62m²
Cocina cafetería: 22,4m²

Figura 4-15: Proyecto, cafetería

- Zona cuerpo de guardia:



Jefe de servicio: 24,14m²
Cuerpo de guardia: 34,65m²
Zona de descanso: 20,79m²
Aseo femenino: 10,65m²
Aseo masculino: 11,36m²

Figura 4-16: Proyecto, cuerpo de guardia

- Gimnasio:

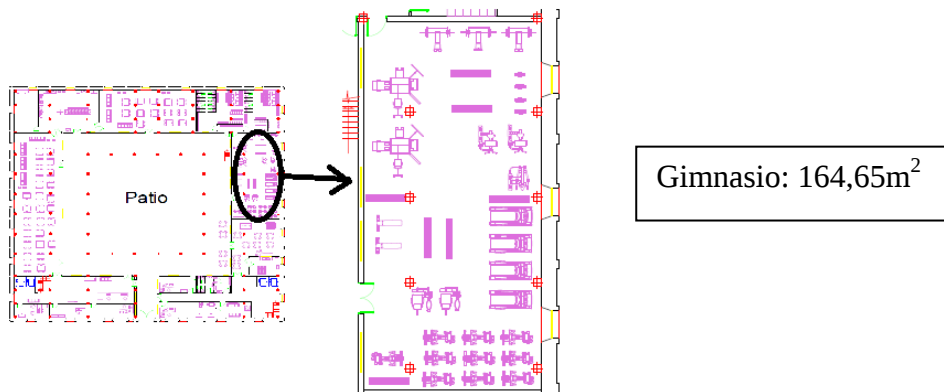


Figura 4-17: Proyecto, gimnasio

b) Para la remodelación y creación de la nueva entreplanta:

- Oficinas:

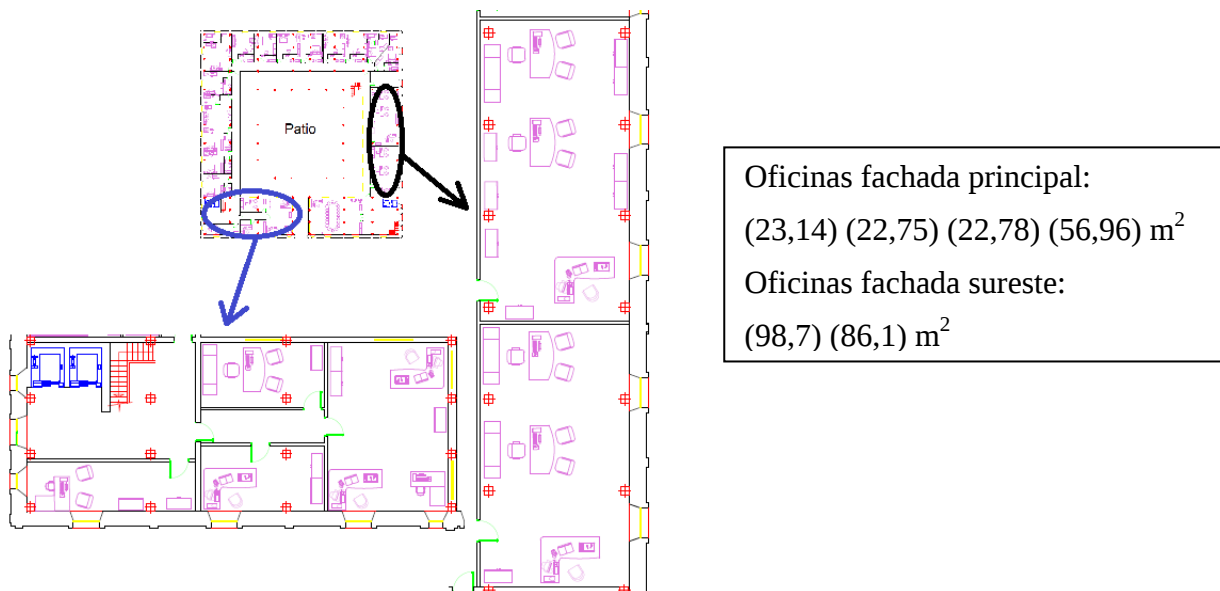


Figura 4-18: Oficinas

- Dormitorios:

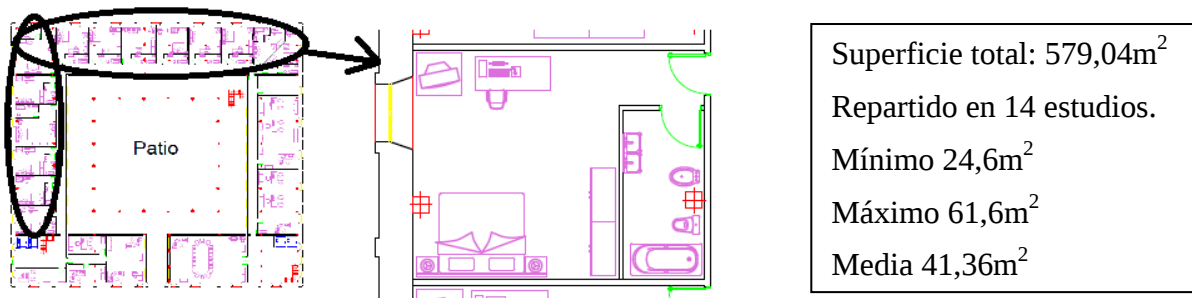


Figura 4-19: Proyecto, dormitorios entreplanta

- Sala de reuniones:

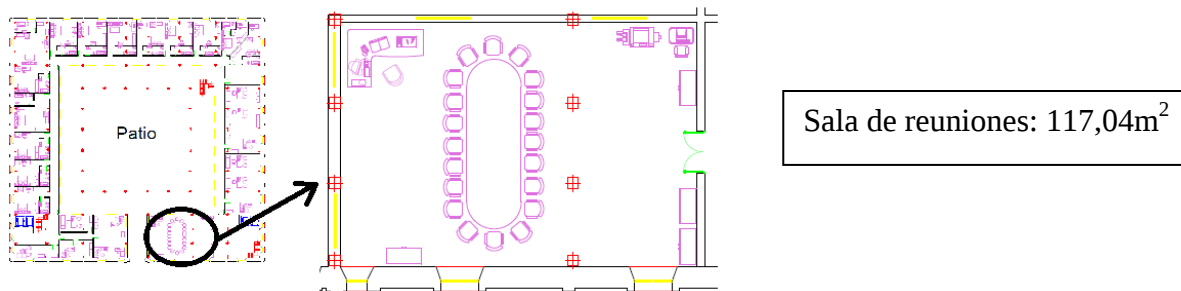


Figura 4-20: Proyecto, sala de reuniones

c) Para la segunda planta, se proyecta la siguiente distribución:

- Dormitorios:

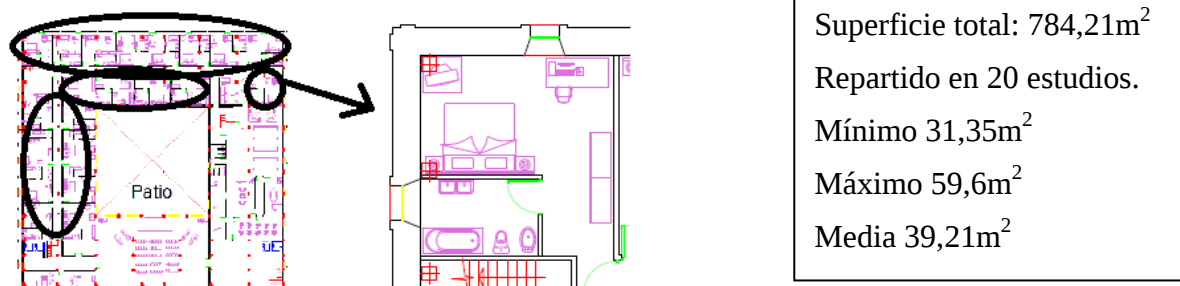


Figura 4-21: Proyecto, dormitorios primera

- Sala informática:

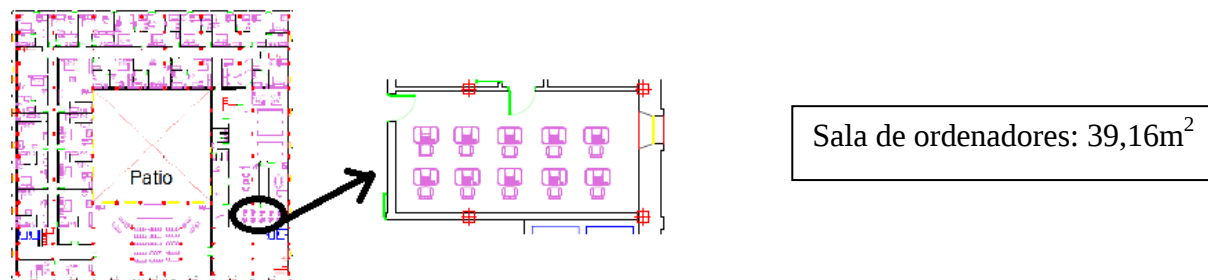


Figura 4-22: Proyecto, sala informática

- Sala de conferencias

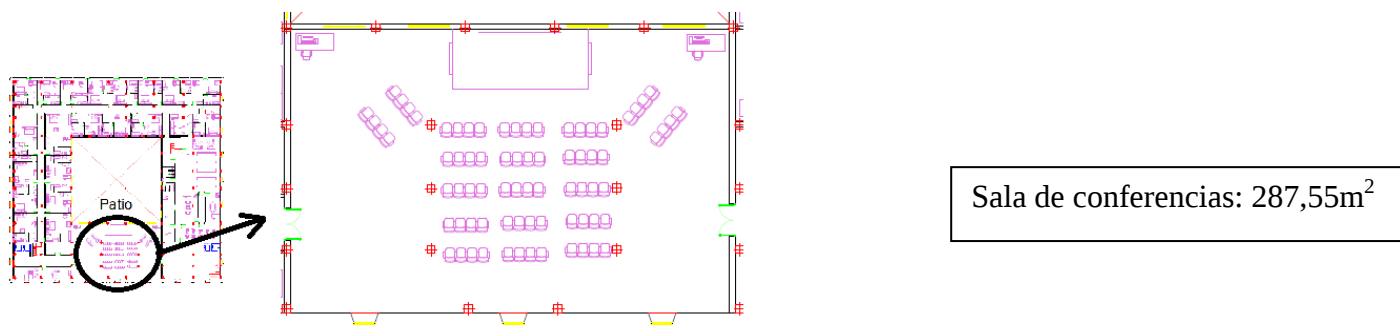
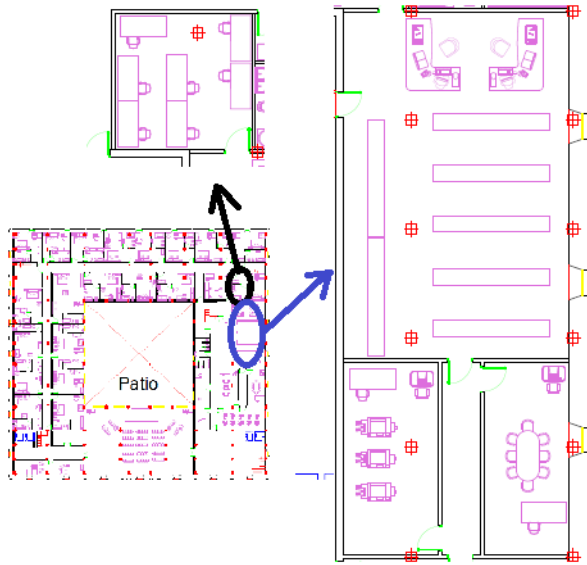


Figura 4-23: Proyecto, sala de conferencias

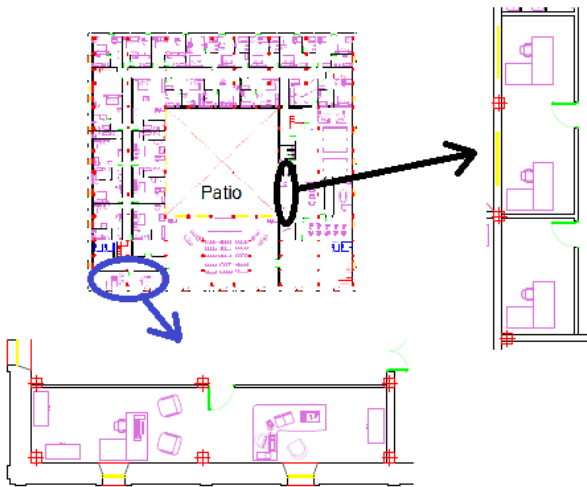
- Biblioteca y salas de estudio:



Biblioteca: 121,04m²
Sala de estudio: 28,08m²
Copistería: 28,12m²
Seminario: 25,84m²

Figura 4-24: Proyecto, biblioteca

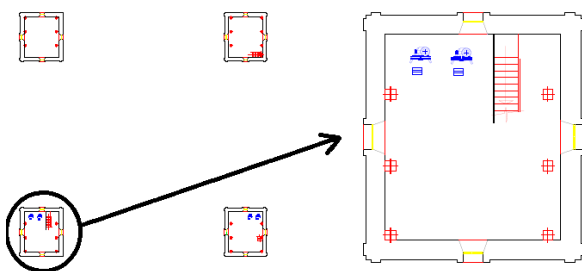
- Oficinas:



Oficinas cara suroeste: 37,8m²
Oficinas cara sureste: 32,94m²

Figura 4-25: Proyecto, oficinas primera planta

- Torres:



Torres x 4: 59,64m²

Figura 4-26: Proyecto, torres

4.2.2 Comprobación de la resistencia estructural del forjado de chapa colaborante proyectado

En este apartado comprobaremos nuestro perfil de uso para conocer que luz máxima podemos aplicar al proyecto para el dimensionamiento de vigas secundarias y principales. Para ello utilizaremos las cargas de uso máximas, el peso propio de la estructura y la carga máxima que podría soportar la estructura para 14 cm de canto de forjado y 1mm de espesor de chapa de acero grecado, de cara a consultar en las tablas del producto

	12	14	16	18	20	21	
ESPESOR 1,00 mm	2,0	1655	2038	2413	2776	3127	3293
	2,2	1441	1801	2164	2496	2811	2959
	2,4	1198	1496	1798	2100	2402	2548
	2,6	997	1258	1512	1766	2020	2142
	2,8	764	1068	1284	1499	1715	1818
	3,0	589	914	1098	1283	1468	1555
	3,2	454	780	946	1105	1264	1338
	3,4	350	614	819	956	1094	1158
	3,6	262	472	712	831	951	1006
	3,8	187	353	583	725	829	876
	4,0	128	260	445	633	725	765
	4,2		185	335	536	634	669
	4,4		125	246	410	555	585
4,6			173	308	486	512	
4,8			114	225	373	447	
5,0				155	278	348	

Figura 4-27: Propiedades estructurales forjado colaborante INCO70.4 de 1mm sin apuntalamiento central (tomada de [10])

Se aplicará para la sobrecarga estructural por el uso la más restrictiva para nuestro edificio, en este caso es la sobrecarga C2, y utilizaremos la carga recomendada por el CTE de 4 Kg/m².

Categorías de zonas de carga	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Categoría A		
– Suelos	1,5 a 2,0	2,0 a 3,0
– Escaleras	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0
– Balcones	2,5 a 4,0	2,0 a 3,0
Categoría B	2,0 a 3,0	1,5 a 4,5
Categoría C		
– C1	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0
– C2	3,0 a 4,0	2,5 a 7,0 (4,0)
– C3	3,0 a 5,0	4,0 a 7,0
– C4	4,5 a 5,0	3,5 a 7,0
– C5	5,0 a 7,5	3,5 a 4,5
Categoría D		
– D1	4,0 a 5,0	3,5 a 7,0 (4,0)
– D2	4,0 a 5,0	3,5 a 7,0

Figura 4-28: Categoría de zona de sobrecarga por uso para proyecto residencial (tomada de [10])

Para el peso propio, se considerará el de la estructura y le sumaremos el 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 se aprecia en la siguiente tabla considerando 1 mm de espesor de chapa grecada y 14 cm de canto (244 kg/m²).

CANTO	MASA UNITARIA
H (mm.)	kg/m ²
110	172
120	196
130	220
140	244
150	268
160	292

Figura 4-29: Masa unitaria del forjado (tomada de [10])

Teniendo en cuenta estos valores, comentamos nuestro supuesto de cálculo:

E.L.U.: Carga Máxima (Kg / m²) = 1,35 * Peso Propio + 1,50* Sobrecarga Uso

Carga Máxima (Kg / m²) = 1,35 * (200+10+100+244) + 1,50*(4)

Carga Máxima = 821,13 Kg/m²

	12	14	16	18	20	21
2,0	1655	2038	2413	2776	3127	3293
2,2	1441	1801	2164	2496	2811	2959
2,4	1198	1496	1798	2100	2402	2548
2,6	997	1258	1512	1766	2020	2142
2,8	764	1068	1284	1499	1715	1818
3,0	589	914	1098	1283	1468	1555
3,2	454	780	946	1105	1264	1338
3,4	350	614	819	956	1094	1158
3,6	262	472	712	831	951	1006
3,8	187	353	583	725	829	876
4,0	128	260	445	633	725	765
4,2		185	335	536	634	669
4,4		125	246	410	555	585
4,6			173	308	486	512
4,8			114	225	373	447
5,0				155	278	348

Figura 4-30: Comprobación de la luz máxima del forjado (tomada de [10])

Como resultado obtenemos que la luz máxima de nuestro forjado pueda llegar hasta los 3 metros, ya que la carga máxima para este será de 914 Kg/m².

Para el cálculo de vigas secundarias y principales a flexión simple se utilizará el software en Excel de los autores del libro ``El Hormigón Armado'', de la editorial Jiménez Montoya. La presente 15ª edición ha sido elaborada con motivo de la aparición de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008. Después de una rigurosa revisión, se han actualizado todos los capítulos de la edición anterior y se han incorporado nuevos contenidos para adaptar la obra a esta nueva normativa así como al Eurocódigo EC-2, analizado profusamente, y al Código Técnico de la Edificación (CTE). Todos los datos del cálculo se detallan en el Anexo XIII del presente TFG, y los resultados concluyen en el empleo de la siguiente viga principal como ejemplo:

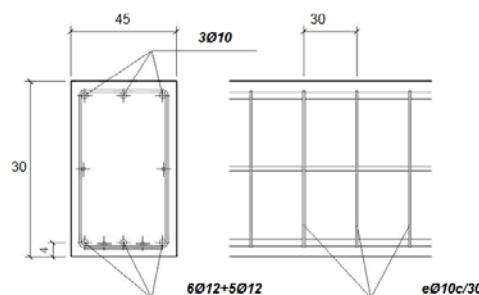


Figura 4-31: Solución viga principal

4.3 Modelización acústica del proyecto del edificio según la rehabilitación planteada para el mismo: Verificación del cumplimiento del DB-HR.

En cuanto a esta parte del proyecto, los cálculos para evaluar cumplimiento de la normativa acústica los hemos desarrollado con el software de simulación 3D SonArchitect, el cual mediante la introducción de todos los parámetros acústicos y estructurales del edificio permite conocer si se alcanzan los aislamientos exigidos por la normativa del Documento Básico DB-HR del Código Técnico de la Edificación.

Es importante destacar que al no recoger la base de datos del programa las características acústicas necesarias del forjado que proponemos hemos tenido que introducir como “elemento nuevo” de cálculo los aportados por el fabricante (Incoperfil INCO 70.4 Colaborante), el cual ya nos proporciona el valor de su comportamiento teórico tanto a ruido aéreo como de impacto.

4.3.1 Consideraciones previas

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, se consideran los siguientes aislamientos exigidos entre distintas plantas (cada planta recibe el tratamiento de unidad de uso respecto a las plantas colindantes): un aislamiento a ruido aéreo $D_{nT,A}$ mínimo de 50 dBA y un nivel de ruido de impacto máximo $L'_{nT,w}$ de 65 dBA (respecto a la planta superior).

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).

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.

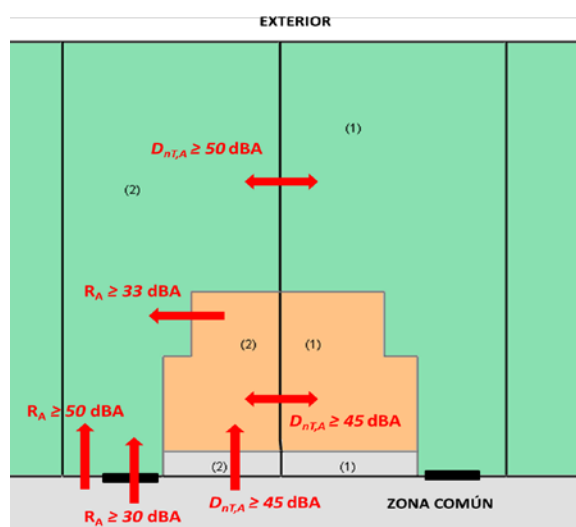


Figura 4-32: Aislamiento interior dormitorios colindantes (tomada de [11])

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

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 $0,2 \text{ m}^2$ por cada m^3 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.

4.3.2 Elección del software para evaluación del comportamiento acústico

En el siguiente apartado se indicará una relación de los softwares principales existentes en el mercado para efectuar evaluaciones acústicas de proyectos de edificaciones y se justificará la elección del SonArchitect para las modelizaciones efectuadas en el presente trabajo.

i) SILENSIS, de la empresa LABEIN.

La Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas HISPALYT, en colaboración con LABEIN Tecnalia, ha desarrollado el software de diseño acústico SILENSIS. Esta herramienta engloba distintas soluciones constructivas cerámicas que cumplen el CTE. El objetivo consiste en facilitar la labor a arquitectos y proyectistas, en fase de proyecto, en el diseño de edificios que satisfagan las exigencias de aislamiento acústico establecidas frente al ruido procedente del exterior (en fachadas, cubiertas, etc.), contemplando a su vez el cumplimiento de los requisitos establecidos entre recintos (entre viviendas, con zonas comunes del edificio, y con recintos de instalaciones o actividad).

ii) Acoubat-dBMat, del Gobierno Vasco.

Se desarrolla dentro de la apuesta estratégica del Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transportes del Gobierno Vasco por dotar al sector de herramientas que faciliten la adopción de nuevos conocimientos persiguiendo la mejora del confort y la calidad de las viviendas ya que la aprobación en 2007 del Documento Básico de Protección frente al Ruido planteó nuevos retos al sector.

iii) SONarchitect, del grupo de investigación Sonitum de la Universidad de Vigo.

Es un software inteligente que analiza el edificio en su conjunto, realiza la verificación integral de todos los requerimientos para todos los pares de recintos de un mismo inmueble y emite una hoja justificativa. Además le permite al proyectista dibujar con toda flexibilidad su edificio, visualizarlo en 3D y actuar sobre él, permitiendo así declarar la conformidad del edificio completo con respeto a las especificaciones del CTE. Este software ha sido creado por la empresa Sound of Numbers, nacida del grupo de investigación Sonitum de la Universidad de Vigo.

iv) Otras herramientas como: CYPECAD MEP, de la empresa CYPE Ingenieros; dBKAisla, de la empresa ICR o las hojas de cálculo de la empresa URSA.

Tras realizar un estudio de los diferentes aspectos de los softwares mencionados anteriormente, se seleccionó el SONarchitect como herramienta para efectuar las modelizaciones acústicas por las siguientes razones:

- a) El equipo técnico de su desarrollo ha realizado la herramienta oficial gratuita del CTE para realizar proyectos acústicos. Existe pues una confianza del Ministerio de Fomento hacia este equipo.
- b) Es el programa del mercado que mejor modela (predice) el índice de reducción vibracional (K_{ij}) de los distintos caminos de transmisión estructurales.
- c) Es un programa presente en una gran multitud de países de Europa y América.
- d) Los directores de este TFG han colaborado en la validación de su funcionamiento, pues la empresa de ingeniería G.O.C.; S.A ha evaluado sus predicciones mediante ensayos según UNE EN ISO 140.

A continuación se describen algunas características de este software y se explican las propiedades que nos han permitido seleccionarlo:

- La herramienta oficial de cálculo que da soporte a la opción general del CTE DB-HR, incluye multitud de hojas Excel que permiten calcular el aislamiento acústico de un par de recintos teniendo en cuenta la casuística geométrica del encuentro entre ambos. Contiene, por tanto, casos para 4 aristas coincidentes, tres aristas coincidentes... Tanto para transmisión vertical como para transmisión horizontal. Para dar conformidad a un proyecto debería seleccionarse los casos peores para proceder al cálculo. El sentir general es que los recintos con 4 aristas coincidentes suelen comportarse peor que otras casuísticas que tienden a tener mayor aislamiento, si bien este hecho no es siempre cierto y encontrar el “caso peor” a menudo, además de mucho conocimiento técnico, requiere de cierto grado de inspiración del que no siempre se dispone.

- En este contexto, el software SonArchitect permite calcular el 100 % de todos los recintos de un edificio de forma automática, de modo que se pueden localizar aquellos pares de recintos que "a priori" (antes de acometer el ensayo) son candidatos a presentar las peores prestaciones acústicas de un edificio completo.

- El software ha sido validado en obra real y sigue la misma filosofía de interpretación de las normas de cálculo de la familia UNE EN-12354 que la herramienta oficial de cálculo. Además, se han realizado algunas extensiones en el método de cálculo, especialmente en lo relativo a mejoras de los Coeficientes de Reducción Vibracional (K_{ij}). Por tanto, el objetivo de SONarchitect es facilitar la realización del proyecto de aislamiento acústico, verificando el cumplimiento de los requerimientos del CTE DB HR, utilizando para ello la opción general de cálculo que se detalla en el documento, que coincide con método simplificado desarrollado en la familia de normas UNE-EN 12354-1. Internamente, el software está organizado en un intérprete geométrico, un motor de cálculo acústico y una base de datos que contiene los datos acústicos de los elementos constructivos (los procedentes del Catálogo Oficial de Elementos Constructivos y las bases de datos de ATEDY/AFELMA y de la empresa alemana BSW).

- La interfaz gráfica permite introducir de forma sencilla y sin restricciones (en cuanto a la forma de dibujar, orden de nodos, etc) la planta del edificio. Se puede importar un fichero en formato “.dxf”, que serviría como plantilla para dibujar sobre ella el “plano acústico”, donde algunos aspectos de la geometría deben simplificarse (columnas, shunts, bajantes, etc). El programa permite replicar completamente las plantas que tienen idéntica distribución o añadir nuevas pisos con solución constructiva o distribuciones diferentes, como suele suceder con los aprovechamientos bajo cubierta y la planta baja donde se ubicarán bajos comerciales o locales de actividad.

4.3.3 Proceso de modelización acústica del proyecto del edificio

A continuación se detallan los pasos seguidos para la obtención, mediante predicción, de los valores de aislamiento conseguidos y su comparativa a las exigencias del DB-HR:

a) Introducción de la geometría de la planta del edificio:

Se realiza manualmente o importando capas de un archivo DXF de alguna herramienta CAD (por ejemplo AutoCAD) que sirvan como plantilla para obtener el modelo simplificado del edificio. El cálculo acústico según el DB-HR requiere de un modelo simplificado del edificio para que los resultados sean acústicamente significativos.

Lo primero que hemos realizado consistió en dibujar las plantas del edificio y sus divisiones interiores. Para ello empleamos el lápiz (opción pluma) y de una manera sencilla y esquemática se introdujeron las medidas imprescindibles para la división del edificio.

Antes de desarrollar la distribución de espacios en cada planta, ha sido necesario definir las plantas, dándoles nombre y la altura que le corresponda.

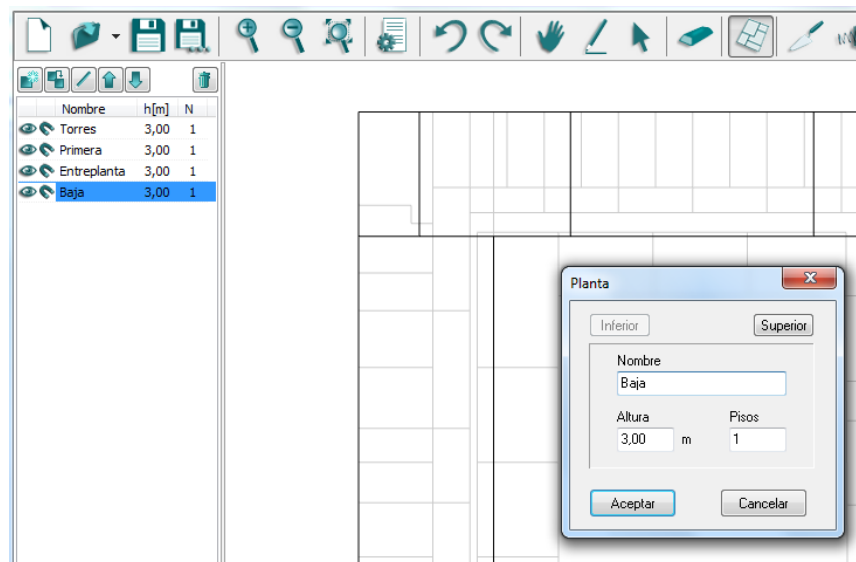


Figura 4-33: Creación de plantas en SonArchitect

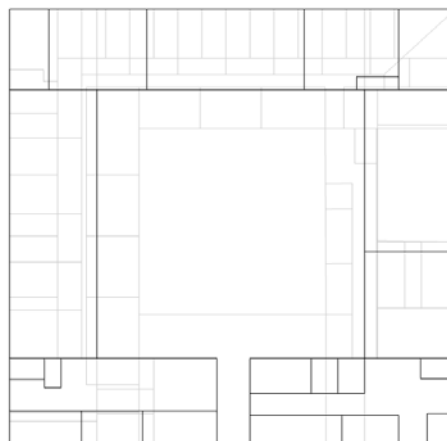


Figura 4-34: Ejemplo de visualizado de plantas en SonArchitect

- b) Se han definido las distintas unidades de uso y la tipología del edificio en función de la clasificación que proporciona el DB-HR del CTE.

El siguiente paso a la hora de caracterizar los recintos proyectados fue, determinar el uso general del edificio, dependiendo de las actividades que se vayan a realizar en su interior. El programa permite otorgar varias opciones generales pulsando la paleta de herramientas (docente, viviendas, residencial público, hospital, sanitario, administrativo, cultural y docente) que son las que se pueden apreciar en la pestaña de la imagen siguiente:

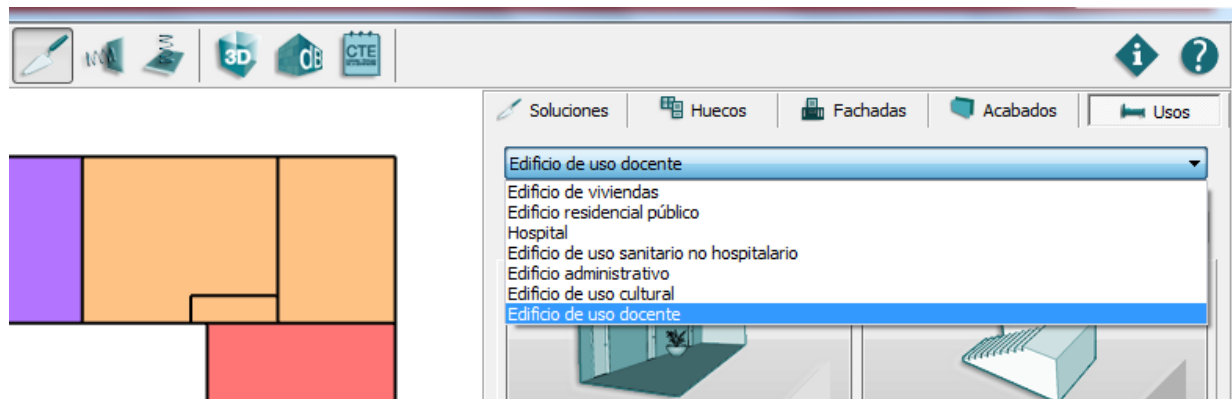


Figura 4-35: Asignación de usos en SonArchitect

Además, dentro de cada cuadro general, permite la opción de otorgar un uso específico para los recintos (uso común, escaleras, habitable, dormitorios, estancias, docentes, salas de conferencias, comedores, instalaciones, actividades y ascensores) tal y como se muestra en la figura 4-36:

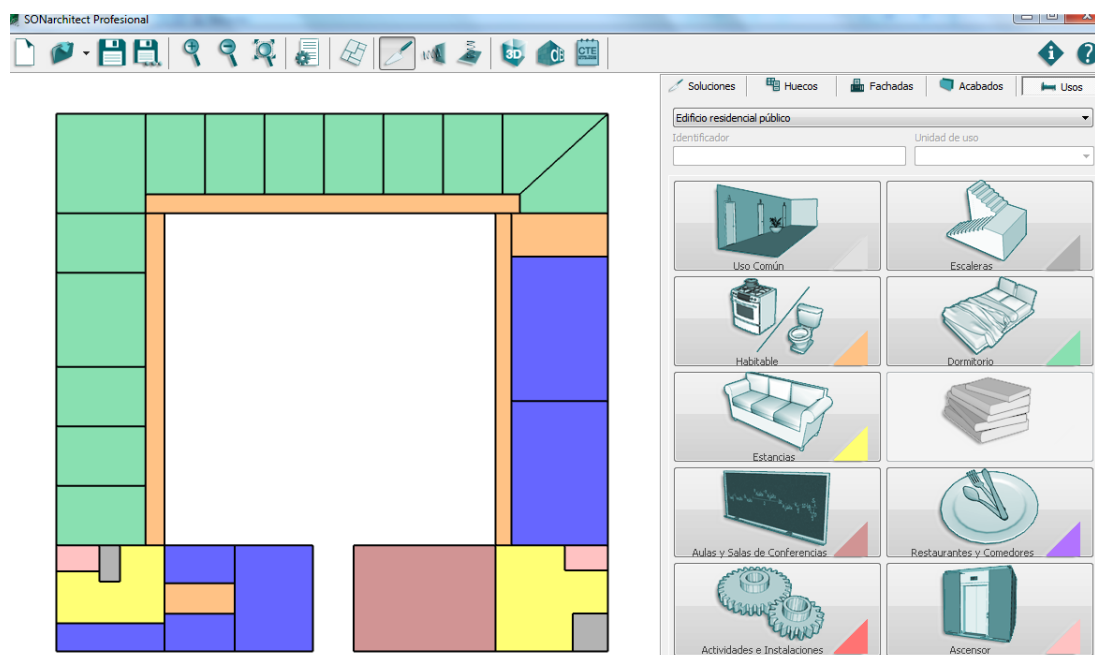
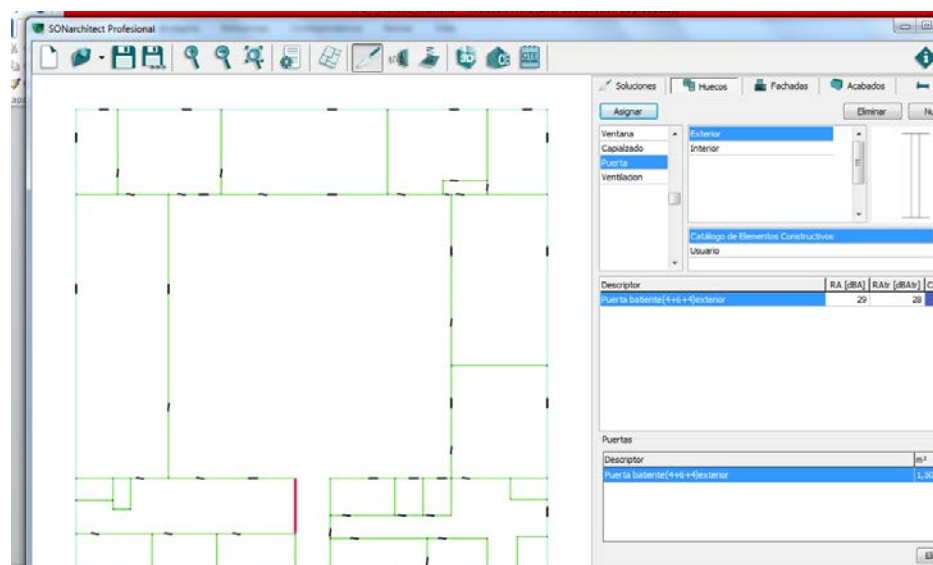


Figura 4-36: Distribución de usos específicos SonArchitect

c) Introducción de puertas y ventanas (huecos).

Una vez definida la estructura geométrica del edificio se está en disposición de asignar las soluciones constructivas (separaciones verticales y separaciones horizontales) y los huecos (puertas y ventanas). En la base de datos del SONarchitect se incluye el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación y además otros catálogos de ciertos fabricantes (también se puede introducir manualmente una solución constructiva específica).

En cuanto a huecos, a nuestro proyecto le hemos asignado ventanas oscilo basculantes en las fachadas, acorde con los huecos que ya poseía el edificio original. Por otra parte en los recintos interiores hemos introducido ventanas basculantes deslizantes. Estos parámetros sólo los usamos con valores medios para la simulación del edificio.



4.3.4 Soluciones constructivas planteadas en el proyecto de residencia del Penal

En este apartado expondremos todos los elementos de separación que se han planteado, y ejecutado en el software, para el proyecto para la residencia en el Penal de Cuatro Torres en el Arsenal de la Carraca en Cádiz.

4.3.4.1 Elementos de separación horizontal (ESH)

- Forjado: Dado que estamos evaluando el comportamiento de uso de forjados de chapa colaborante, tomamos como ejemplo para el proyecto el de la empresa Incoperfil con su perfil INCO70.4 Colaborante, ambos de 1mm de espesor en la chapa. Presenta 140 mm de canto para las plantas sin cubiertas y de 160 mm para las zonas que deban soportar estas condiciones. Actúan como aislantes a ruido aéreo con un R_A de 46dBa y 48 dBa y a ruido de impacto con un $L'_{nT,w}$ de 89 dB y 87 dB respectivamente.

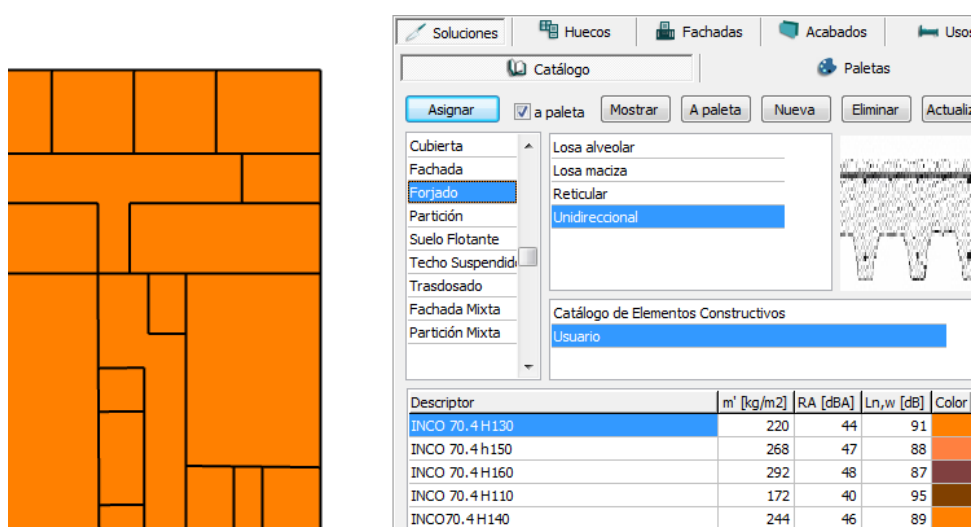


Figura 4-39: Aplicación de forjado en SONArchitect

- 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).

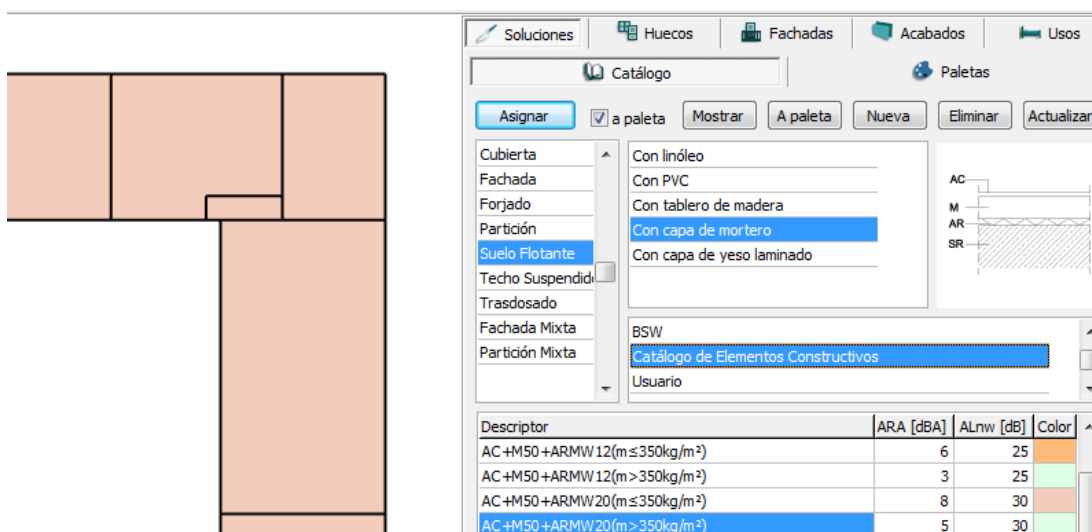


Figura 4-40: Asignación de suelos flotantes en SONArchitect

- Cubierta: Para las cubiertas al exterior se han seleccionado unas convencionales, sobre las que se instalará grava. Más económicas y de fácil aplicación.

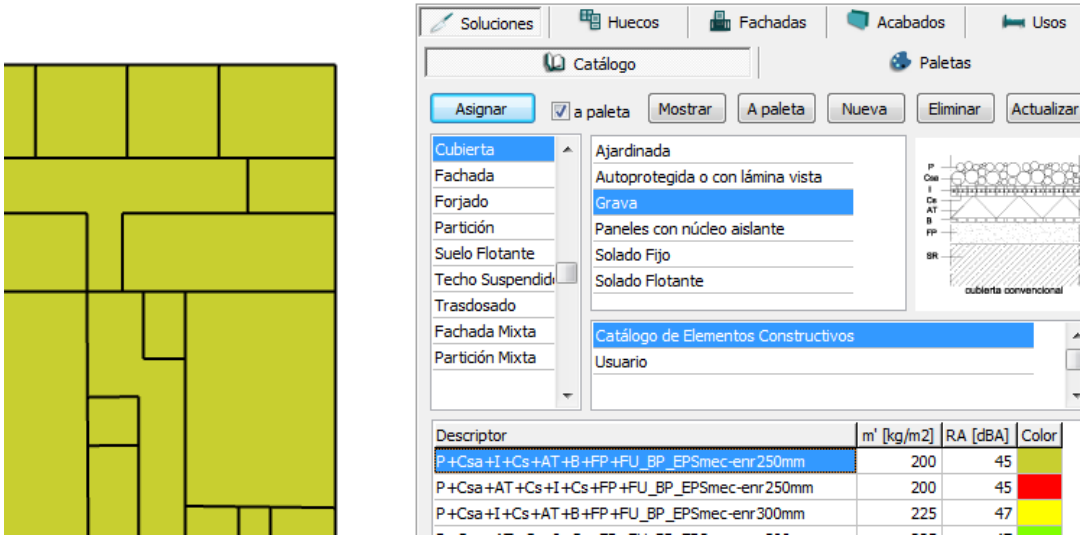


Figura 4-41: Designación de cubiertas en SONArchitect

- Techos acústicos absorbentes: Es necesario proyectar sistemas de techos absorbentes acústicos en pasillos, salas de estudio, biblioteca y salas de conferencia y reuniones. Se instalado para el cálculo 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.

- Acabados: Para los pasillos y salas de conferencia se proyectan moquetas con un espesor menor de 17 mm y para el resto de superficies de comedores y cafetería se aplicará una superficie de tarima.

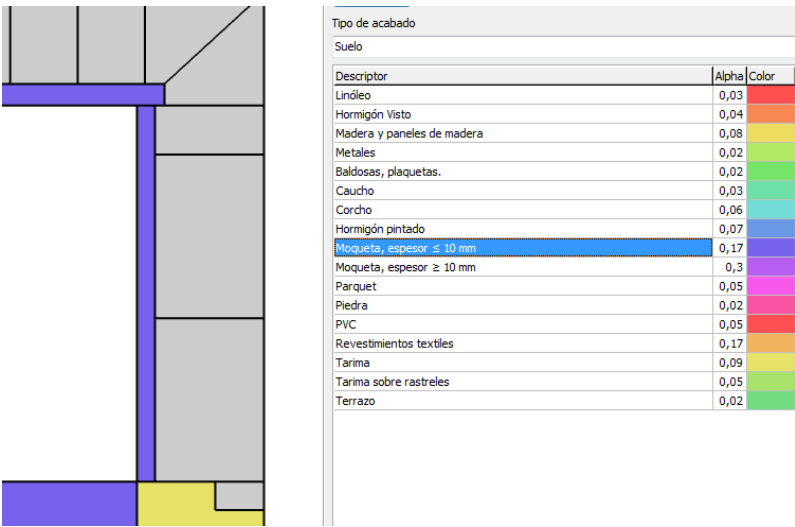


Figura 4-42: Aplicación e acabados en SONArchitect

4.3.4.2 Elementos de separación vertical

- 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. (RA = 54 dBA; m= 51 Kg/m²).

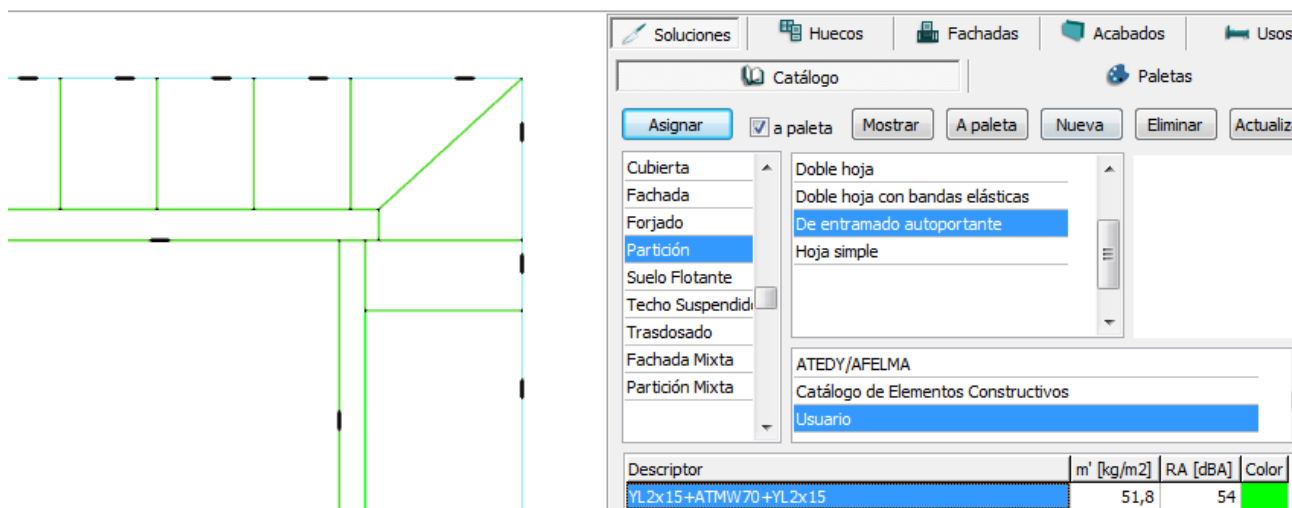


Figura 4-43: Determinación de particiones con SONArchitect

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 15mm. (m=51,4 Kg/m²; RA= 51 dBA).

CUADRO 15.3.2.1 TABIQUES MÚLTIPLES. RESUMEN CARACTERÍSTICAS									
Denominación Sistema	Esquema	Peso (kg/m²)	Altura Máxima (m)	Resistencia Térmica		Aislamiento Acústico (dB(A))		Resistencia al fuego (min)	
				m²h °C/kcal (m² °C/W)					
				Con aislante	Sin aislante	Con aislante	Sin aislante	N	FOC
Tabique PLADUR® METAL 130/400 (70) (15+15+70+15+15) [43]		51,80	4,60	1,948 (1,676)	0,837 (0,715)	(54)	(48,5)	90	120
Tabique PLADUR® METAL 130/600 (70) (15+15+70+15+15) [41]		51,00	4,20	1,948 (1,676)	0,837 (0,715)	54	48,5	90	120

Figura 4-44: Resumen características múltiples separación vertical (tomada de [11])

- 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 supone como una pared de áridos finos con el espesor correspondiente. Pero además se le añade un trasdosado fino de ladrillo hueco simple y lana mineral para dotarlo de elegancia interior e incrementar el aislamiento entre habitaciones.

- Acabados: En cuanto a los acabados de las paredes, sólo se proyectó moqueta de menos de 10 mm de espesor en las salas de conferencias y en los pasillos de las habitaciones.

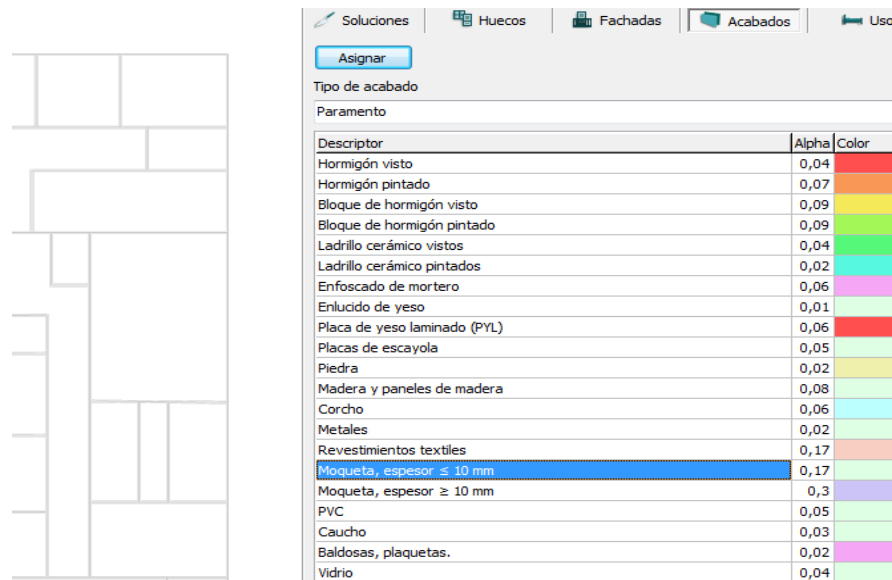


Figura 4-45: Introducción de moquetas en SONArchitect

4.3.5 Resultados obtenidos de la modelización acústica

La modelización se ha desarrollado mediante un programa de cálculo 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:

- $D_{nT,A}$ (para el aislamiento a ruido aéreo entre recintos),
- $L'_{nT,w}$ (para el nivel de ruido de impacto),
- $D_{2m,nT,Atr}$ (para el aislamiento a ruido aéreo respecto al exterior),
- T_r (para el tiempo de reverberación),

Como se ha indicado, se ha determinado la tipología de cada recinto en función de la clasificación introducida por el Documento Básico “Protección frente al ruido” DB-HR del CTE (recinto de actividad, recinto de instalaciones, recinto habitable, recinto protegido).

Como resultados y conclusiones, el aislamiento acústico a ruido aéreo y el aislamiento a 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).
- Aislamiento acústico a 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).

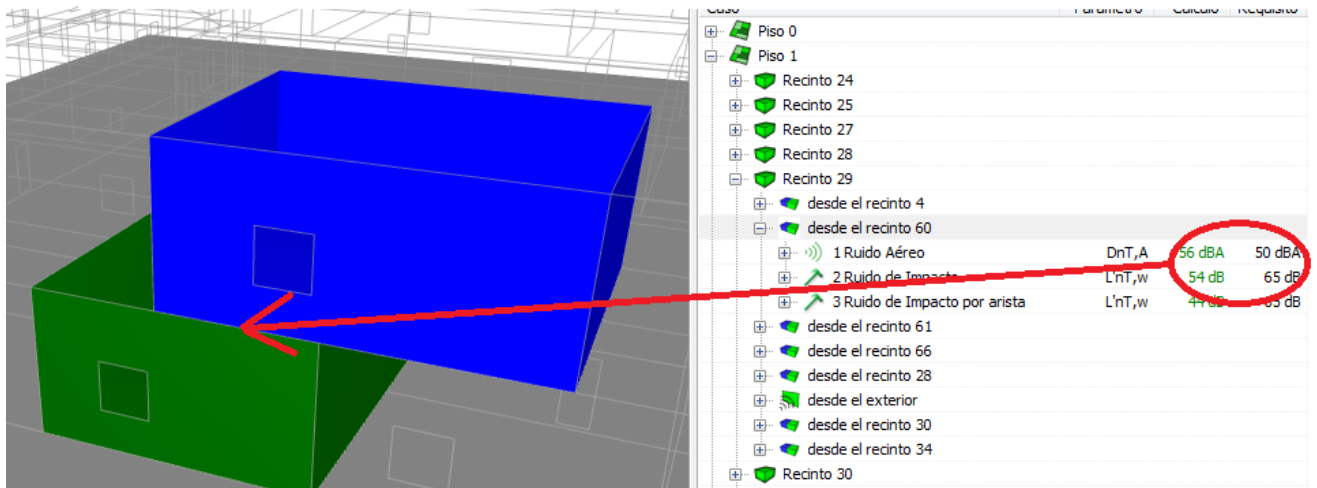


Figura 4-46: Ruido aéreo y de impacto entre dos habitaciones en distintas plantas

- 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).

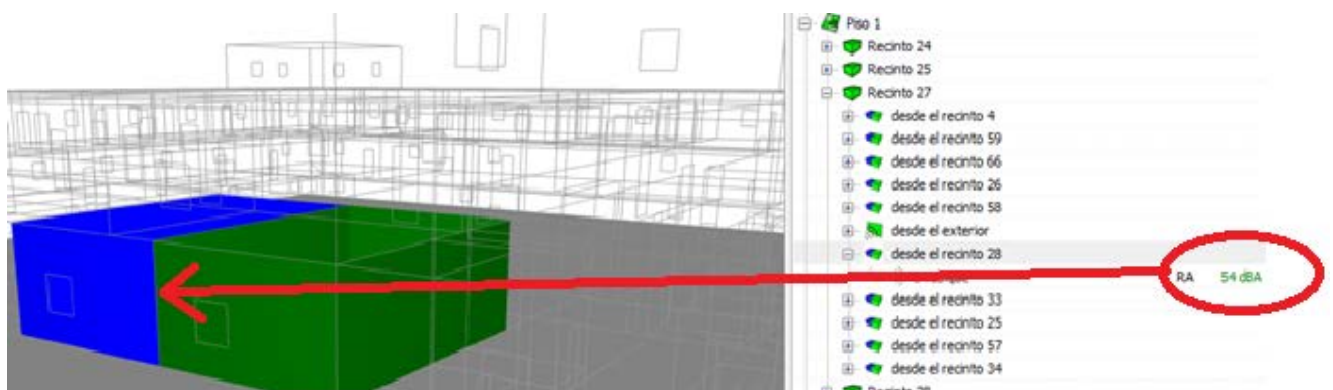


Figura 4-47: Aislamiento entre recintos colindantes

- 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).

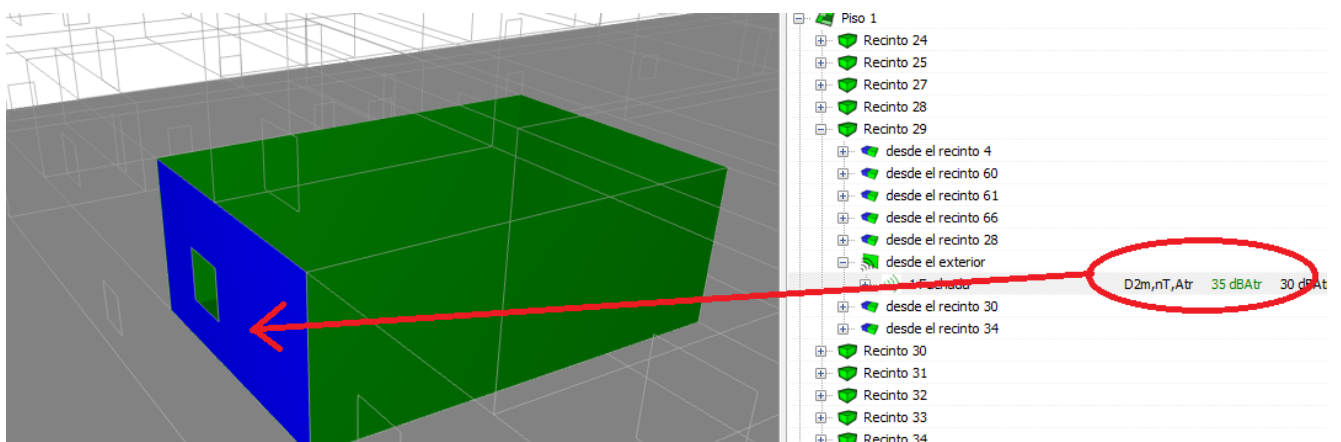


Figura 4-48: Aislamiento a ruido aéreo exterior

- El cerramiento de proyecto entre habitación y zona común (pasillo) cumple ya 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 el cerramiento de un recinto protegido de una unidad de uso respecto a

zona común cuando ambos recintos comparten puertas ($R_A \geq 50$ dBA). Nota: Las puertas han de poseer un aislamiento de $R_A \geq 30$ dBA (dato que ha de aportar el fabricante).

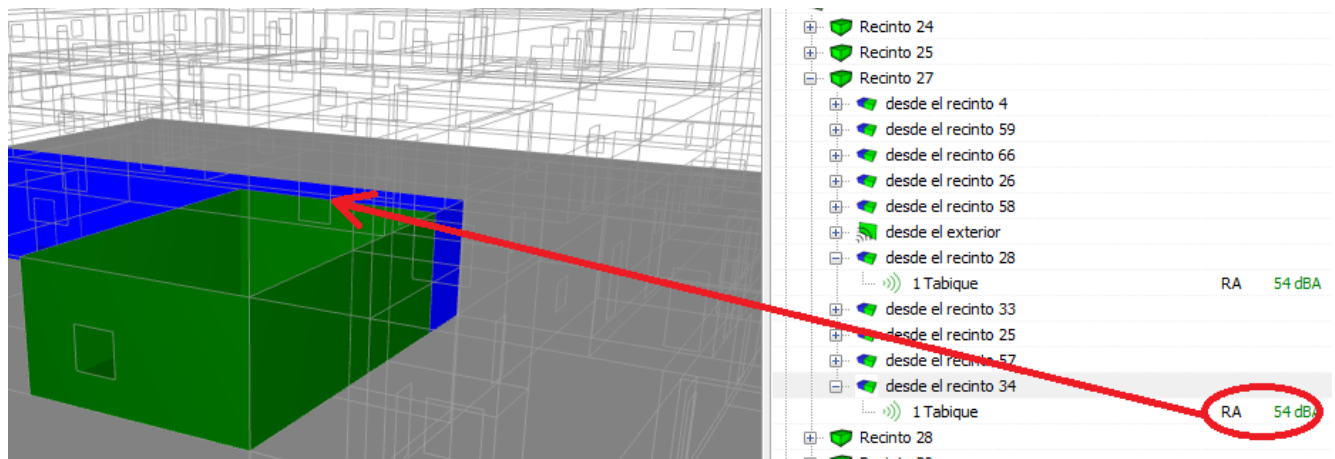


Figura 4-49: Aislamiento entre pasillos

- Para la tabiquería interior de habitación (mismo usuario: zona de dormitorio/baño), es suficiente con ejecutar YL15+ATMW48+YL15: ($R_A = 43$ dBA; exigencia $R_A \geq 33$ dBA).

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

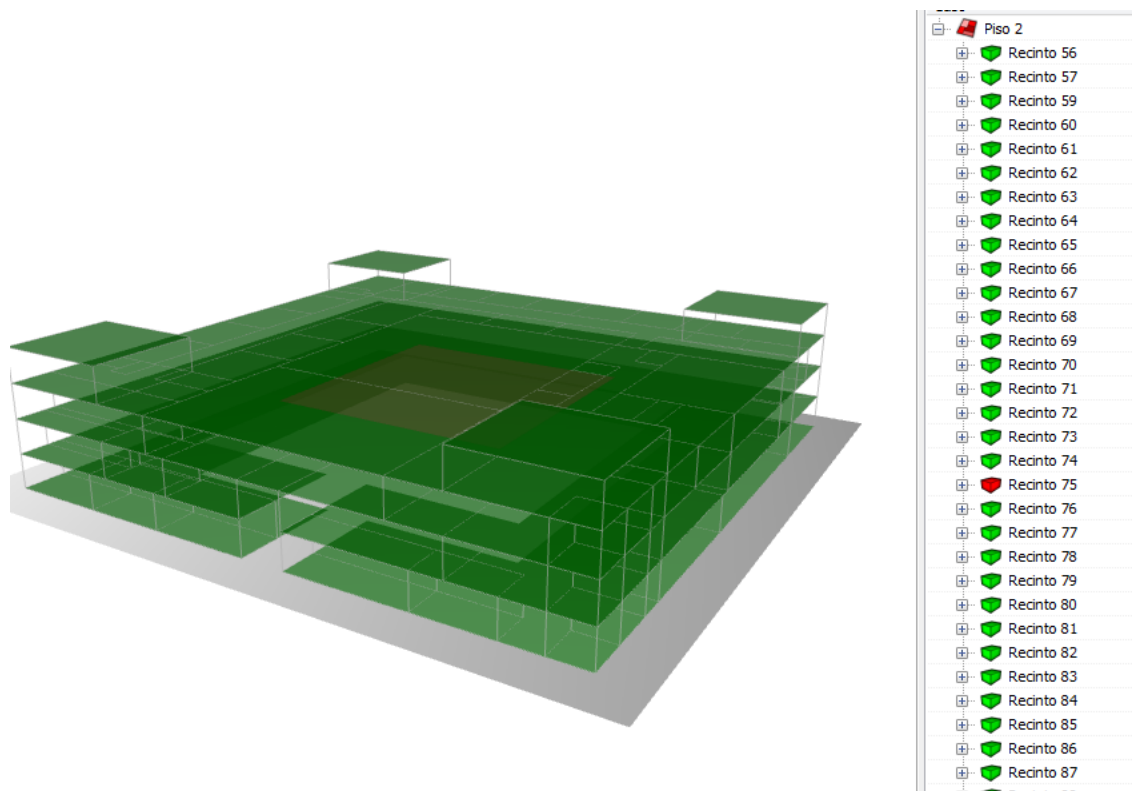


Figura 4-50: Resolución acústica del Penal de Cuatro Torres

4.4 La reforma térmica

4.4.1 Exigencias normativas

El Penal de Cuatro Torres se localiza geográficamente en la Bahía de Cádiz, por lo tanto se encuentra dentro de la zona térmica A y sus valores máximos de transmitancia vienen recogidos en la siguiente tabla:

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Tabla 4-2: Zonas de aplicación coeficiente térmico (tomada de [18])

Para determinar si la reforma que proponemos para el edificio cumple con estos límites máximos normativos hemos utilizado en nuestro proyecto la base de datos de la empresa URSA, la cual cuenta con varios documentos en formato Excel con todas las propiedades térmicas de diferentes materiales que pueden ser empleados en la construcción. Además, esta aplicación permite conocer el coeficiente de transmisión total para estos materiales y evaluar directamente si estos son suficientes para nuestro proyecto.

4.4.2 Software URSA

Hemos decidido emplear el software de la empresa especializada en aislamiento de URSA por su simplicidad. Se trata de una herramienta de Excel diseñada para mostrar los resultados relativos al coeficiente de transmisión térmica de un determinado material y posee una base de datos amplia que recoge todo tipo de productos, no sólo los de la propia empresa.

Al tratarse de la zona de Cádiz, las exigencias de aislamiento térmico no son muy restrictivas y, por tanto, prácticamente las separaciones verticales y horizontales estructurales proyectadas permiten el cumplimiento según los requisitos del Documento Básico de Ahorro Energético dentro del Código Técnico de la Edificación.

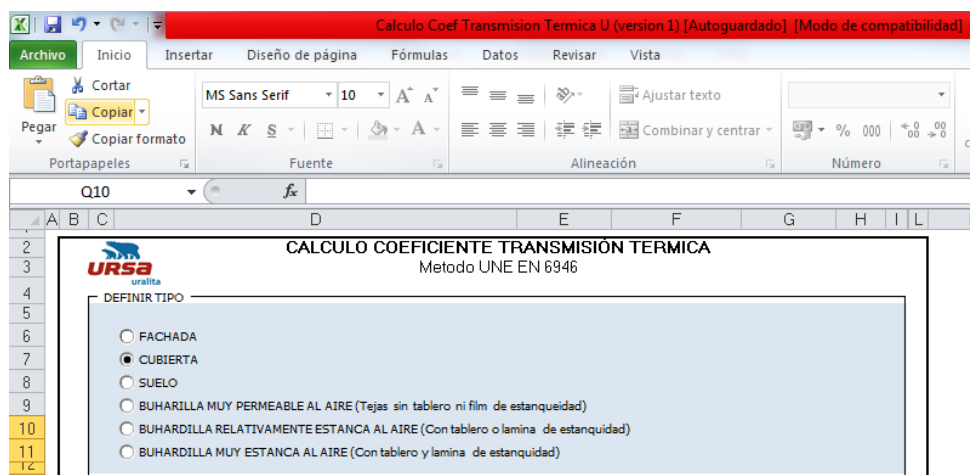


Figura 4-51: Ventana de introducción del software de URSA

4.4.3 Comprobación del aislamiento térmico del proyecto

Presentamos a continuación el estudio térmico desarrollado, eligiendo sucesivamente una parte diferente de la edificación:

URSA
uralita

CALCULO COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA
Metodo UNE EN 6946

DEFINIR TIPO

☒ FACHADA
☐ CUBIERTA
☐ SUELO
☐ BUHARRILLA MUY PERMEABLE AL AIRE (Tejas sin tablero ni film de estanqueidad)
☐ BUHARRILLA RELATIVAMENTE ESTANCA AL AIRE (Con tablero o lamina de estanqueidad)
☐ BUHARRILLA MUY ESTANCA AL AIRE (Con tablero y lamina de estanqueidad)

CAPAS EXTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R. Termica	m ² K/W
1 PIEDRA/Calizas blandas			1	0,00
2			0	0,00
3			0	0,00
4			0	0,00
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00

CAMARA DE AIRE

Sin camara

R. Termica 0,00

☒ NO Ventilada ☐ LIGERAMENTE ventilada ☐ MUY Ventilada

CAPAS INTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R. Termica	m ² K/W
1 FABRICA/Ladrillo hueco	0,015		0,49	0,03
2 FABRICA/Ladrillo hueco	0,015		0,49	0,03
3 GAS/Aire	0,115		0,025	4,60
4			0	0,00
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00

RESULTADO

COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" 0,21 W/m²K

© Josep Sole

Figura 4-52: Cálculo del coeficiente transmisión térmica en fachadas por URSA

Como podemos apreciar en esta tabla obtenida directamente del programa, la fachada cumple con la especificación máxima, pues no llega a un coeficiente de transmisión térmica de 1,22 W/m²K, siendo el valor de esta de 0,21 W/m²K.

Las particiones interiores han sido proyectadas con revestimiento por ambas caras de 1,5 cm sobre ladrillo hueco y cuentan con una cámara interior de 11,5 cm de aire que prácticamente toda la resistencia térmica al conjunto. Al ser las medianeras entre las diferentes instalaciones del mismo material, podemos considerar que todas las particiones interiores estarán dentro de la normativa ya que todas entrarán dentro del mínimo al tener este valor ya incluso sin la fachada antigua de piedra ostionera.


CALCULO COEFICIENTE TRANSMISIÓN TERMICA
 Metodo UNE EN 6946

DEFINIR TIPO

- ☐ FACHADA
- ☒ CUBIERTA
- ☐ SUELO
- ☐ BUHARDILLA MUY PERMEABLE AL AIRE (Tejas sin tablero ni film de estanqueidad)
- ☐ BUHARDILLA RELATIVAMENTE ESTANCA AL AIRE (Con tablero o lamina de estanqueidad)
- ☐ BUHARDILLA MUY ESTANCA AL AIRE (Con tablero y lamina de estanqueidad)

CAPAS EXTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R.Termica	m ² K/W
1			0	0,00
2	ARIDO/Arena o grava	0,05	2	0,03
3	IMPERMEABILIZACION/EPDM	0,03	0,2	0,15
4	AISLANTE/EPS I (3-10 kg/m ³)	0,03	0,047	0,64
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00
				0,81

CAMARA DE AIRE

De 5 mm

☒ NO Ventilada
 ☐ LIGERAMENTE ventilada
 ☐ MUY Ventilada

R.Termica
0,11

CAMARA DE AIRE

De 5 mm

☒ NO Ventilada
 ☐ LIGERAMENTE ventilada
 ☐ MUY Ventilada

R.Termica
0,11

CAPAS INTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R.Termica	m ² K/W
1	AISLANTE/EPS I (3-10 kg/m ³)	0,02	0,047	0,43
2	IMPERMEABILIZACION/EPDM	0,015	0,2	0,08
3	MORTERO/De 1800 kg/m ³	0,115	0,9	0,13
4			0	0,00
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00
				0,63

RESULTADO

COEFICIENTE TRANSMISION TERMICA "U" 0,59 **W/m²K**

© Josep Sole

Figura 4-53: Calculo del coeficiente de transmisión térmica por cubierta en RSA

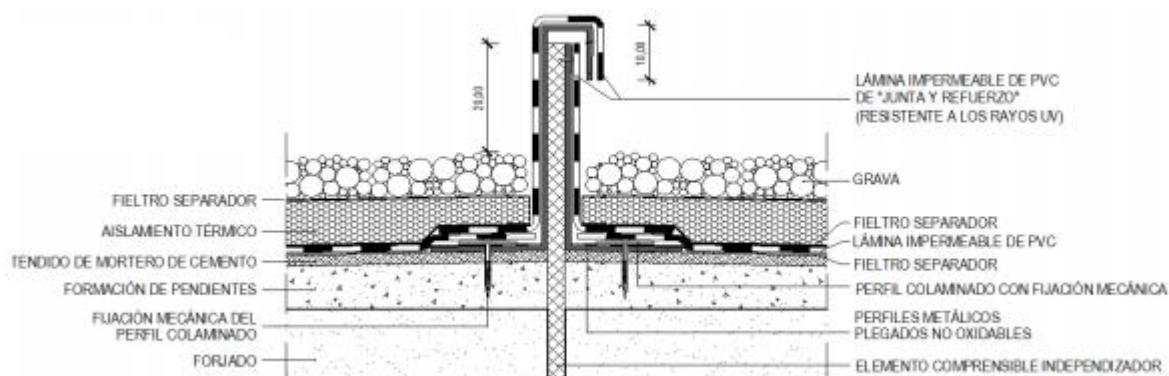


Figura 4-54: Cubierta exterior (tomada de [17])

La cubierta proyectada se compone de dos partes, una exterior para el aislamiento tanto impermeable como térmico y una interior donde se superpone con el forjado y las capas de mortero. En nuestro caso, la cubierta cumple con la normativa al situarse dentro de los valores del CTE, aportando un resultado de coeficiente de transmisión térmica de 0.59 unidades sobre el 0.65 permitido.

En los suelos existen menores requerimientos que para las cubiertas. Para el aislamiento del terreno prácticamente con la cimentación proyectada es suficiente. En nuestro caso tenemos el pavimento superior, una capa de impermeabilización y una capa fina de aislante terrenal.

Incluso introduciendo unos valores poco conservadores sobre todo con la capa de mortero, obtendremos un valor de 0,64 unidades, que se sitúa por debajo del máximo permitido de 0,69 y, por tanto, cumple con los requerimientos del CTE.



Figura 4-55: Ejemplo de aislamiento bajo pavimento URSA (tomada de [17])

URSA
uraltia

CÁLCULO COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA
Metodo UNE EN 6946

DEFINIR TIPO

☐ FACHADA
☐ CUBIERTA
☒ SUELO
☐ BUHARILLA MUY PERMEABLE AL AIRE (Tejas sin tablero ni film de estanqueidad)
☐ BUHARDILLA RELATIVAMENTE ESTANCA AL AIRE (Con tablero o lamina de estanqueidad)
☐ BUHARDILLA MUY ESTANCA AL AIRE (Con tablero y lamina de estanqueidad)

CAPAS EXTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R.Térmica	m ² K/W
1			0	0,00
2	PAVIMENTO/Sub-base de pavimento	0.01	0,05	0,20
3	IMPERMEABILIZACIÓN/EPDM	0.03	0,2	0,15
4			0	0,00
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00
				0,35

CAMARA DE AIRE

De 5 mm

R.Térmica
0,11

☒ NO Ventilada ☐ LIGERAMENTE ventilada ☐ MUY Ventilada

CAPAS INTERIORES

	Espesor (m)	Lambda (W/m·K)	R.Térmica	m ² K/W
1	AISLANTES/URSA TERRA y URSA TERRA PLUS	0.02	0,036	0,56
2			0	0,00
3	MORTERO/De 1800 kg/m ³	0.3	0,9	0,33
4			0	0,00
5			0	0,00
6			0	0,00
7			0	0,00
8			0	0,00
				0,89

RESULTADO

COEFICIENTE TRANSMISIÓN TÉRMICA "U" 0.64 W/m²K

© Josep Solé

Figura 4-56: Cálculo de aislamiento bajo pavimento URSA

4.4.4 Conclusiones particulares

Actualmente ha de justificarse un aislamiento térmico en los proyectos por las necesidades normativas. Nuestro proyecto posee unas exigencias muy estrictas por la zona en la que se sitúa pero se justifica el cumplimiento de este requisito del CTE.

Además, la herramienta de URSA nos permite estimar los costes del consumo energético y lo que podríamos ahorrarnos con un buen aislamiento. Para nuestro proyecto, de una forma aproximada sería:

PRE-ESTUDIO REHABILITACION ENERGETICA VIVIENDAS									
Ciudad referencia	Cadiz		Zona Climática		A3				
Superficie Útil	441 m2								
Altura entre plantas	3 m								
Situación Inicial	Antes de 1979								
	Fachada Sur	Fachada SurEste	Fachada Este	Fachada Norte	Fachada Oeste	Fachada SurOeste	Azoteas Tejados	Cerramientos No soleados	
Superficie (bruta)	650	0	650	650	650	0	441		m2
% huecos	30	0	25	25	30	0	(--)		(0-30)
Rehabilitación opaco	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Rehabilitación CT	Sin rehabilitación	
Rehabilitación hueco	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	Sin rehabilitación	(--)	Sin rehabilitación	
Protección solar huecos	Sin tratamiento	Sin tratamiento	Sin tratamiento	Sin tratamiento	Sin tratamiento	Sin tratamiento	(--)	(--)	
Uopaco (rehabilitado)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0,5	1,8	W/m2-K
Uhuecos (inicial)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	(--)	5,5	W/m2-K
Uhuecos (rehabilitado)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	(--)	5,5	W/m2-K
F.solar (inicial)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	(--)	(--)	
F.Solar (rehabilitado)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	(--)	(--)	
R.térmica aislante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	m2-KW
Puentes Térmicos	Sin Modificación								
Estanquidad	Sin Modificación								
Dispone Refrigeración ?	Si								
ESTIMACION COSTE REHABILITACION									
	F.Sur	F.SurEste	F.Este	F.Norte	F.Oeste	F.SurOeste	Cubiertas	C. No soleadas	
	Aislamiento exterior	Sin intervención	Aislamiento exterior	Aislamiento exterior	Trasdosado Interior	Sin intervención	Invertida	Sin intervención	
ESTIMACION COSTE REHABILITACION									
	F.Sur	F.SurEste	F.Este	F.Norte	F.Oeste	F.SurOeste	Cubiertas	C. No soleadas	
	Aislamiento exterior	Sin intervención	Aislamiento exterior	Aislamiento exterior	Trasdosado Interior	Sin intervención	Invertida	Sin intervención	
RESULTADOS									
Ahorro porcentual probable	Calefacción	10,8	% de €/año						
	Refrigeración	14,6	% de €/año						
	TOTAL	12,8	% de €/año						
COSTES REALES									
	Rehabilitación	5.292	€	5.292		Estimación costes totales de la intervención			
Coste Energético actual (sin rehabilitar)	Coste calefacción	9.306	€			29.503 € (rehabilitación)			
	Coste Refrigeración	10.609	€			9.306 €/año (sin rehabilitar)			
Amortización probable	Recuperación	2,1				10.609 €/año (sin rehabilitar)			

Figura 4-57: Costes de amortización rehabilitación térmica URSA

Por tanto, si proyectamos un buen aislamiento del exterior, ahorraríamos una media de 13% de los costes de calefacción y refrigeración; lo que demuestra que este tipo de intervenciones son de vital importancia y deben ser ejecutadas correctamente.

5 CONCLUSIONES

5.1 Verificaciones del proyecto

Inicialmente se aprecia la necesidad de rehabilitación de edificios en la Armada, en general por la antigüedad y valor histórico y cultural que tienen muchos de ellos. Este TFG abordó la evaluación de la posibilidad de rehabilitación de edificios con aplicación de forjados con chapa colaborante,

La dificultad de emplear soluciones de forjado convencional reside en el estado de estos edificios que necesitan de urgente revitalización para poder ser reutilizados. Estos impedimentos en el uso de estos forjados convencionales (como el tradicional in situ) derivan, sobre todo, en su alto peso y su dificultad de puesta en obra. Todos estos aspectos convierten al forjado de chapa colaborante en el candidato más óptimo a la vez que eficiente para su utilización en la rehabilitación de edificios históricos.

Pero la proyección de este tipo de forjado con chapa grecada de acero necesita una comprobación de su comportamiento tanto estructural como acústico y térmico, ya que las propiedades de éste, al tratarse de una estructura tan reducida, debe cumplir unas exigencias más complejas tanto en su puesta en obra como en su posterior uso en el edificio a rehabilitar.

Para la correcta comprobación del comportamiento del forjado de chapa colaborante, en el presente trabajo de fin de grado se refleja el proyecto de rehabilitación de un edificio existente. El proyecto en cuestión abordó el Penal de Cuatro Torres situado en el Arsenal de la Carraca de San Fernando; el cual es planteado para la realización de un nuevo uso como edificio residencial privado y administrativo.

Tras la correcta definición del proyecto gracias a diferentes softwares de apoyo y a la utilización de la normativa existente para forjados mixtos y para el aislamiento tanto térmico como acústico reflejada en el Código Técnico de la Edificación, se ha comprobado el adecuado comportamiento del forjado de chapa colaborante en el ejemplo proyectado. Por lo tanto, queda verificado como apto el uso de este tipo de forjado para edificios de la armada.

Además, conviene indicar que el desarrollo de tales proyectos constructivos permitirá demostrar los esfuerzos de la Armada por integrar la variable sostenible en su modelo de actuación, lo cual será valorado por sus grupos de interés.

5.2 Líneas futuras de actuación en el proyecto

Para continuar con el proyecto de rehabilitación del Penal de Cuatro Torres como la nueva Residencia Militar de Cuatro Torres, se proponen seguir una serie de pasos tomando como cimentación este presente TFG:

- i) Modelización en 3D en CAD del proyecto a partir de los planos realizados en AutoCAD en 2D en el presente TFG.
- ii) Proyección estructural, basándose en algún software de cálculo de estructuras, para obtener el comportamiento del edificio en conjunto (tricalc, CYPE...).
- iii) Redacción del presupuesto de obra del proyecto, para comprobación de eficiencia económica del mismo.
- iv) Presentación del proyecto al organismo central de construcciones en la Armada para su futura implementación si precisa como adecuado su uso.

En cuanto a líneas de investigación, dado el nacimiento relativamente reciente de este tipo de forjados, se propone como medidas de actuación las siguientes:

- i) Proyección de forjados de chapa colaborante con grandes luces, pero manteniendo los principios del material en cuanto a ligereza y facilidad de puesta en obra.
- ii) Mejoras del comportamiento acústico del material, destacando el aislamiento a ruido de impacto.
- iii) Comprobación del forjado de chapa colaborante como estructura portante vertical para la aplicación de este en la rehabilitación de interiores.
- iv) Realización de medidas acústicas in situ una vez ejecutada una obra en este tipo de forjados.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Vivienda, Código Técnico de Edificación, Madrid: Gobierno de España, 2006.
- [2] R. G. Diéguez, Introducción a la construcción arquitectónica, Sevilla: ETSA Sevilla, 1998.
- [3] P. U. Brotóns, Construcción de estructuras de hormigón armado adaptado a las instrucciones EHE, EFHE, NCSE-2 y CTE, San Vicente (Alicante): Club Universitario, 2009.
- [4] A. E. d. N. y. Certificación, Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón, Madrid: AENOR, 2011.
- [5] L. M. López, Estudio comparativo de tipologías de forjado, 2008.
- [6] Google, «www.google.es/imagenes,» [En línea]. Available: www.google.es. [Último acceso: Enero 2016].
- [7] C. I. Laguna, Forjados mixtos de chapa colaborante. Análisis, proyecto y construcción, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2008.
- [8] Ministerio de Fomento, EHE-08 Instrucción de hormigón estructural, Centro de Publicaciones Secretaría General de Fomento, 2011.
- [9] Asociación Española de Normalización y Certificación, Eurocódigo 3, Estructuras de acero, Madrid: AENOR, 2005.
- [10] INCOPERFIL, Dossier Técnico Forjado colaborante INCO 70.4, Valencia: Ingeniería y Construcción del Perfil S.A., 2007.
- [11] R. M. y. F. J. Rguez, Desarrollo de proyectos acústicos por el método general del DB-HR, Tecnología y sociedad, 2012.
- [12] I. E. T. y. CSIC, Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control, Madrid, 2015.

- [13] Ministerio de Vivienda, CTE-DB-HR Documento Básico de Protección Frente al Ruido, Madrid: Gobierno de España, 2006.
- [14] Asociación Española de Fabricantes de Materiales Aislantes, Soluciones de aislamiento acústico, Madrid: ANDIMAT, 2009.
- [15] I. v. d. l. rehabilitación, Propiedades de los aislantes térmicos para rehabilitación energética, Valencia: IVE, 2011.
- [16] AENOR, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras, AENOR, 2010.
- [17] URSA, Manual de aislamiento, Madrid: URSA Insulation SA, 2009.
- [18] Ministerio de Vivienda, CTE-DB-HE Documento básico de ahorro energético, Gobierno de España, 2006.
- [19] Miguel Angel Ferreiro, «Elretohístico.com,» [En línea]. Available: Elretohístico.com. [Último acceso: 15 Enero 2016].
- [20] A. d. l. C. Jefatura de Edificaciones Navales, *Penal de Cuatro Torres*, San Fernando: Ministerio de Defensa.
- [21] AENOR, Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón, AENOR, 2010.
- [22] Gobierno de España, ministerio de la presidencia, «boe.es,» 31 Enero 1966. [En línea]. Available: <http://boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1966-117>. [Último acceso: 16 Enero 2016].

ANEXO I: EL HORMIGÓN

TIPOS DE HORMIGÓN	
Hormigón ordinario	Material que se obtiene al mezclar cemento, agua y áridos minerales de tamaños varios, superiores e inferiores a 5mm.
Hormigón en masa	No contiene en su interior armadura de ninguna clase. Apto para resistir esfuerzos de compresión.
Hormigón armado	Hormigón con armadura de acero especial sometida a tracción previamente a la puesta de carga del conjunto.
Hormigón pretensado	Hormigón con armadura de acero sometida a tracción previamente a la puesta en carga del conjunto.
Hormigón mixto	Es aquel en el que se emplean mezclas de dos o más componentes, y los nombres de éstos deberán incluirse en la denominación de hormigón.
Hormigón ciclópeo	Es el que tiene embebidos en su masa grandes mampuestos de dimensión mínima mayor de 30 cm., y de forma tal que el conjunto no pierda la compacidad.
Hormigón aerocluso	Es el que tiene una cantidad de aire incorporado no mayor del 6% de su volumen, uniformemente distribuido en toda la masa, en forma de burbujas cuyo tamaño está comprendido entre 0'05 y 0'1mm. (También hormigón aireado).
Hormigón unimodular	Es el hormigón con áridos de un solo tamaño
Hormigón ligero	Compuesto con áridos ligeros. Una variante es el hormigón celular que contiene burbujas independientes de gas, uniformemente repartidas.
Hormigón blindado	Unidad de obra utilizada en pavimentaciones, compuesta por una capa de espesor variable de hormigón ordinario y otra superior de piedra embutida
Amianto-cemento	Hormigón cuyo árido es el amianto o asbesto, roca fibrosa cuyas principales propiedades son la elasticidad e incombustibilidad

Tabla 0-1: Tipos de hormigón más comunes

COMPONENTES DEL HORMIGÓN		
Aglomerantes	Cal	Es todo producto, sea cual sea su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de piedras calizas. En albañilería se emplean cales aéreas y cales hidráulicas. - Las cales aéreas amasadas con agua se endurecen únicamente en el aire, por acción del anhídrido carbónico. Las cales hidráulicas amasadas con agua, se endurecen en el aire, o bajo el agua. - La cal viva en terrón se apagará en balsa, añadiendo la cantidad precisa de agua, que, en general, es de dos partes en volumen de agua por una de cal, y se deja reposar un plazo mínimo de dos semanas. Si es preciso se tamiza después. - La cal apagada, envasada en sacos o barriles, o a granel, llevará el nombre del fabricante y su designación. Se almacenará en sitio seco y resguardado de las corrientes de aire. - La cal hidráulica se recibirá en obra, seca y exenta de grumos, envasada adecuadamente, indicando nombre del fabricante y su designación. Se conservará en lugar seco y resguardado de las corrientes de aire, para evitar su posible carbonatación.
	Yeso	El yeso es un material conocido desde la más remota antigüedad, principalmente en zonas de clima seco. En la construcción se ha empleado para unir materiales o elementos constructivos, para protecciones de paramentos interiores y exteriores, en decoración... La reacción de hidratación del yeso es exotérmica. Al mismo tiempo que se produce calor se produce una expansión como consecuencia del rápido crecimiento de los cristales durante el fraguado. La resistencia mecánica de los yesos depende de su naturaleza, de su composición, de su finura, de la cantidad de agua de amasado y del contenido de humedad en el momento de la rotura. La aplicación en exteriores o ambientes húmedos debe controlarse debido a la solubilidad del material, si bien no debe confundirse este concepto con el de permeabilidad (su estructura permite acumular gran cantidad de agua cuando la concentración de la misma en el ambiente es alta y devolverla cuando éste se reseca). Esta característica implica una buena resistencia al fuego (es yeso no es inflamable), y está relacionada con la corrosión en los aceros. Los tipos de yeso más utilizados según la RY-85 son: - Yeso Grueso de Construcción, que se designa YG. También llamado yeso negro. - Yeso Fino de Construcción, que se designa YF. También llamado yeso blanco. - Yeso de Prefabricados, que se designa YP. - Escayola, que se designa E-30. Las escayolas son los yesos de mejor calidad. - Escayola Especial, que se designa E-35. Se utiliza para acabados, molduras, estucados finos...

	Cemento	El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve su trabajabilidad durante un tiempo suficiente, alcanzar unos niveles de resistencias preestablecido y presentar una estabilidad de volumen a largo plazo. El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos, como por ejemplo, los aluminatos. La suma de las proporciones de óxido de calcio reactivo (CaO) y de dióxido de silicio reactivo (SiO₂) será al menos del 50% en masa, cuando las proporciones se determinen conforme con la Norma Europea EN 196-2. Los cementos están compuestos de diferentes materiales (componentes) que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado. Existen, desde el punto de vista de composición normalizada, dos tipos de componentes: - Componente principal: Material inorgánico, especialmente seleccionado, usado en proporción superior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios. - Componente minoritario: Cualquier componente principal, usado en proporción inferior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.
	Otros	Otros aglomerantes nuevos son los plásticos (Resinas epoxi, Poliéster, copolímeros de naturaleza orgánica, PVC, Látex...) Los plásticos, en un sentido amplio, son: - Materiales orgánicos, constituidos por macromoléculas. - Producidos por transformación de sustancias naturales, o por síntesis directa, a partir de productos extraídos del petróleo, del gas natural, del carbón o de otras materias minerales. Se utilizan para pavimentos “in situ” (mezclas de baja viscosidad y autonivelantes), fabricación de terrazas, en morteros, hormigones, reparaciones en hormigones y sellados de juntas...
Agua		El agua que se añade a la mezcla, junto con los demás componentes del hormigón, tiene las siguientes misiones: - Hidrata los componentes activos del cemento. - Actuar como lubricantes haciendo posible que la masa sea trabajable. - Crea espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

Áridos	Árido es el conjunto de granos minerales de diferentes dimensiones destinados principalmente para la fabricación de morteros, hormigones, capas de cimentación y bases y firmes de carreteras y vías férreas. Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento de los morteros y los hormigones, desempeñan un papel económico y técnico muy importante en sus características. (Aproximadamente el 80 % del volumen del hormigón es ocupado por los áridos). Las características de los áridos deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requieran a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.	Áridos naturales: Cuando proceden de fuentes naturales, sin más transformación que las mecánicas de cribado, lavado... Se clasifican según: - Su composición (en función de la familia petrológica de procedencia) puede ser: - graníticos - calizos - silíceos... - El proceso mecánico que han experimentado para su suministro y uso: - machaqueo (obtenidos por desintegración artificial mediante trituración, poseen superficies rugosas y aristas vivas). - rodados (Las arenas así como los áridos gruesos procedentes de la desintegración natural y erosión de las rocas, en general, redondeados con superficies lisas sin aristas)
		Áridos artificiales: Áridos fabricados con materias primas que sufren una transformación mecánica, térmica, química... Se clasifican según el proceso de obtención, ya que dependen fundamentalmente de este proceso. En su designación debe figurar siempre una referencia al proceso de fabricación: - Arcillas expandidas - Escorias siderúrgicas (se comprobará previamente que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos).
Adiciones	Se entiende por adiciones aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales. Pueden utilizarse como componentes del hormigón siempre que se justifique su idoneidad para su uso, produciendo el efecto deseado sin modificar negativamente las características del hormigón, ni representar peligro para la durabilidad del hormigón, ni para la corrosión de las armaduras. Se permiten dos tipos de adiciones al hormigón en el momento de su fabricación. - Cenizas volantes - Humo de sílice	

Aditivos	Se entiende por aditivos aquellas sustancias que, incorporados al hormigón antes del amasado o durante el mismo en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. - En los hormigones armados o pretensados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico, ni en general, productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras. - En los elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia, no podrán utilizarse aditivos que tengan carácter de aireantes. - En la prefabricación de elementos con armaduras pretensas elaborados con máquinas de fabricación continua, podrán usarse aditivos plastificantes que tengan un efecto secundario de inclusión de aire, siempre que se compruebe que no perjudica sensiblemente la adherencia entre el hormigón y la armadura, afectando al anclaje de ésta. En cualquier caso, la cantidad total de aire ocluido no excederá del 6% en volumen, medido según la UNE EN 12350-7. Los aditivos tienen una: - Función principal que se caracteriza por producir una modificación determinada y solamente una, de alguna de las características del hormigón, mortero o pasta. - Función secundaria y accesorio de modificar alguna o algunas de las características de estos materiales, independientemente de la que defina la Función Principal. La acción de estos aditivos es, en general, de naturaleza físico-química y por lo tanto producen alteraciones de las características físicas, químicas o mecánicas de la mezcla. Se debe tener en cuenta que algunos aditivos al mejorar alguna característica de una mezcla puede alterar otra. Un aditivo no es paliativo, no tiene por misión conseguir un buen hormigón a partir de una mala dosis o de una colocación defectuosa de obra. técnica correcta.	Aditivos que modifican la reología: Disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
		Modificadores del tiempo de fraguado: Disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
		Inclusores de aire: Producir en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a las heladas.
		Aditivos que mejoran la resistencia a las acciones físicas: Tienen por función principal conseguir que los hormigones M. ó P. presenten mayor resistencia a la acción de los fenómenos de naturaleza física.
		Aditivos que mejoran la resistencia a las acciones físicoquímicas: Incrementan la resistencia de los conglomerados y de las armaduras a ataques de naturaleza físicoquímica internos o externos.

Tabla 0-2: Componentes del hormigón

COMPONENTES DEL CEMENTO	
Caliza (L)	Especificaciones: $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masa. Contenido de arcilla $< 1,20 \text{ g}/100 \text{ g}$. Contenido de carbono orgánico total (TOC) $\leq 0,50\%$ en masa.
Caliza (LL)	Especificaciones: $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masa. Contenido de arcilla $< 1,20 \text{ g}/100 \text{ g}$. Contenido de carbono orgánico total (TOC) $\leq 0,20\%$ en masa.
Cenizas volantes calcáreas (W)	Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volante calcárea es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas y/o puzolánicas. Especificaciones: CaO reactivo $> 10,0\%$ en masa si el contenido está entre el $10,0\%$ y el $15,0\%$ las cenizas volantes calcáreas con más del $15,0\%$ tendrán una resistencia a compresión de al menos $10,0\text{Mpa}$ a 28 días SiO_2 reactivo $\geq 25\%$ Expansión estabilidad $\leq 10 \text{ mm}$ Pérdida por calcinación $\leq 5,0\%$ en masa si está entre el $5,0\%$ y $7,0\%$ en masa (pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al hielo, y la compatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización).
Cenizas volantes síliceas (V)	Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volante sílicea es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas. Especificaciones: (SiO_2) reactivo $\geq 25\%$ CaO reactivo $< 10,0\%$ en masa CaO libre $< 1,0\%$ en masa si el contenido es superior al $1,0\%$ pero inferior al $2,5\%$ es también aceptable con la condición de que el requisito de la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm Pérdida por calcinación $< 5,0\%$ en masa si el contenido está entre el $5,0\%$ y $7,0\%$ en masa pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al al hielo, y la compatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización.
Clinker (K)	El clinker de cemento portland es un material hidráulico que se obtiene por sintetización de una mezcla especificada con precisión de materias primas (crudo, pasta o harina). Especificaciones: $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) \geq 2,0$ $\text{MgO} \leq 5,0\%$ $3\text{CaO}.\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}.\text{SiO}_2 \geq 2/3$

Clínker Aluminato de Calcio	El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro (Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos (SiO_2, TiO_2, S, SO_3, Cl-, Na_2O, K_2O, etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato monocálcico ($\text{CaO Al}_2\text{O}_3$).
Escoria granulada de alto horno (S)	La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto. Especificaciones: Fase vítrea $\geq 2/3$ $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 2/3$ $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2 > 1,0$
Esquistos calcinados (T)	El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800°C y finamente molido presenta propiedades hidráulicas pronunciadas, como las del cemento Portland, así como propiedades puzolánicas. Especificaciones: Resistencia a compresión a 28 días $\geq 25,0 \text{ MPa}$ La expansión (estabilidad) $\leq 10 \text{ mm}$ NOTA: Si el contenido en sulfato SO_3 del esquisto calcinado excede el límite superior permitido para el contenido de sulfato en el cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.
Humo de sílice (D)	El humo de Sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas. Especificaciones: SiO_2 amorfo $\geq 85\%$ Pérdida por calcinación $\leq 4,0\%$ en masa Superficie específica BET) $\geq 15,0 \text{ m}^2/\text{g}$
Puzolana natural (P)	Las puzolanas naturales son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias de composición silíceo o sílico-aluminosa o combinación de ambas, que finamente molidos y en presencia de agua reaccionan para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Especificaciones: SiO_2 reactiva $> 25\%$
Puzolana natural calcinada (Q)	Las puzolanas naturales calcinadas son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico. Especificaciones: SiO_2 reactiva $> 25\%$

Tabla 0-3: Componentes del cemento

EL AGUA EN EL HORMIGÓN

La EHE-08 (Artículo 27°), determina que el agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Un índice útil sobre la aptitud de un agua es su potabilidad (Son también aptas las depuradas con cloro). Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón (Ver apartado potabilidad).

Podrán emplearse aguas de mar o aguas salinas análogas para el amasado o curado de hormigones que no tengan armadura alguna. Salvo estudios especiales, se prohíbe expresamente el empleo de estas aguas para el amasado o curado de hormigón armado o pretensado.

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas. Además se deberá cumplir que el valor de densidad del agua reciclada no supere el valor 1,3 g/cm³ y que la densidad del agua total no supere el valor de 1,1 g/cm³.

Tipos de agua	Agua de amasado		Es el agua que participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón que disminuye su resistencia.		
	Agua de curado		Es el agua que se añade para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación. Debe ser abundante durante el proceso de curado.		
Potabilidad del agua	Características		Limitación	Riesgo	Observación
	Exponente de hidrógeno (ph)		<=5	- Altera fraguado y endurecimiento - Disminuye resistencia y durabilidad	Con cementos aluminosos no utilizar ph mayor que 8
	Sustancias disueltas		<= 15 gr / litro (15000ppm)	- Eflorescencia - Menor resistencia - Fenómenos expansivos	
	Contenido en sulfatos SO ₄		<= 1 gr / litro (1000ppm) Excepto cemento SR (5 gr / litro)	- Alteraciones en el fraguado y endurecimiento - Pérdida de resistencia, afecta a la durabilidad	Estricto con el agua de curado, la proporción puede aumentar para cemento RS
	Ion Cl	Pretensado	<= 1 gr / litro (1000ppm)	Corrosión de armaduras	Puede aumentar para HM
		Armado o antifisuración	<= 3 gr / litro (3000ppm)	Otras	
	Hidratos de carbono		0	El hormigón no fragua	Altera el endurecimiento
	Sustancias orgánicas		<= 15 gr / litro (15000ppm)	- Alteraciones fraguado y endurecimiento - Fuerte caída resistencia	Cuidado con la materia orgánica de la arena

Tabla 0-4: Características del agua en el hormigón

ESTUDIO DE LOS ÁRIDOS

Como áridos para la fabricación de hormigones (EHE-08) pueden emplearse:

- Áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620, rodados o procedentes de rocas machacadas.
- Escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620. Se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos inestables.
- En general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.
- Áridos reciclados.
- En el caso de áridos ligeros, se deberá cumplir en particular, lo establecido en UNE-EN 13055-1.

Dada su peligrosidad, sólo se permite el empleo de áridos con una proporción muy baja de sulfuros oxidables. En cualquier caso, el suministrador de áridos garantizará documentalmente el cumplimiento de las condiciones físico-químicas, físico-mecánicas, granulometría y forma del árido.... según EHE-08. Cuando no se tengan antecedentes sobre la naturaleza de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según interese.

Los áridos deben ser transportados y acopiados de manera que se evite su segregación y contaminación, debiendo mantener las características granulométricas de cada una de sus fracciones hasta su incorporación a la mezcla.

En la fase de proyecto, a efectos de la especificación del hormigón, es necesario únicamente establecer para el árido su tamaño máximo en mm, (TM) y, en su caso, especificar el empleo de árido reciclado y su porcentaje de utilización.

d/D – IL - N	d/D Fracción granulométrica, comprendida entre un tamaño mínimo, d, y un tamaño máximo, D, en mm. IL Forma de presentación: R, rodado; T, triturado (de machaqueo); M, mezcla. Preferentemente, se indicará también la naturaleza del árido (C, calizo; S, silíceo; G, granito; O, ofita; B, basalto; D, dolomítico; Q, traquita; I, fonolita; V, varios; A, artificial; R, reciclado)
---------------------	---

Figura 0-1: Designación de los áridos

Condiciones áridos finos	La granulometría de los áridos, determinada de conformidad con la norma UNE-EN 933-1, debe cumplir los requisitos correspondientes a su tamaño de árido d/D. - Condiciones granulométricas del árido fino total: La cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,063 UNE EN 933-1, expresada en porcentaje del peso de la muestra de árido grueso total o de árido fino total, no excederá los valores de la tabla 10. En caso contrario, deberá comprobarse que se cumple la especificación relativa a la limitación del contenido total de finos en el hormigón recogido en EHE-08.
---------------------------------	--

Clasificación áridos finos y gruesos

La Instrucción Española de Hormigón, define como árido fino o arena a la fracción del mismo que pasa por el tamiz de 4 mm de luz de malla (tamiz 4 UNE EN 933-2:96), siendo grava o árido grueso la fracción del mismo que queda retenida en este tamiz; y por árido total (o simplemente árido cuando no haya lugar a confusiones) aquel que de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

Dentro de esta clasificación se puede reconocer otros tamaños y así en las arenas se distinguen arenas gruesas de tamaño 2 a 4 mm y finas las comprendidas entre 0,08 y 2 mm; denominando finos a la fracción de tamaño inferior a 0.08mm.

La arena es el árido de mayor responsabilidad en los hormigones. No es posible hacer un buen hormigón con una arena mala. Pueden ser de río o mina. Las primeras, son muy buenas para confeccionar hormigones, pues suelen estar lavadas y limpias de impurezas. Las arenas de mina suelen tener arcilla. Otros tipos de arenas (mar, duna....) necesitan un estudio específico de análisis químico para su utilización en construcción.

Se denomina tamaño máximo D de un árido grueso o fino, la mínima abertura de tamiz UNE EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 6, en función del tamaño del árido.

Se denomina tamaño mínimo d de un árido grueso o fino, la máxima abertura de tamiz UNE EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 6, en función del tipo y del tamaño del árido.

Los tamaños de los áridos no deben tener un D/d menor que 1,4.

Tabla 28.3.a. Requisitos generales de los tamaños máximo D y mínimo d.						
		Porcentaje que pasa (en masa)				
		2D	1,4 D ^{a)}	D ^{b)}	d	d/2 ^{a)}
Árido Grueso	D > 11,2 ó D/d > 2	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5
	D ≤ 11,2 o D/d ≤ 2	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5
Árido fino	D ≤ 4 y d = 0	100	95 a 100	85 a 99	-	-

a) Como tamices 1,4D y d/2 se tomarán de la serie elegida el siguiente tamaño del tamiz más próximo de la serie.

b) El porcentaje en masa que pase por el tamiz D podrá ser superior al 99 %, pero en tales casos el suministrador deberá documentar y declarar la granulometría representativa, incluyendo los tamices D, d, d/2 y los tamices intermedios entre d y D de la serie básica más la serie 1, o de la serie básica más la serie 2. Se podrán excluir los tamices con una relación menor a 1,4 veces el siguiente tamiz más bajo.

Figura 0-2: Requisitos de los áridos generales

Limitaciones árido grueso

El tamaño máximo del árido grueso utilizado para la fabricación del hormigón será menor que:

- 0,8 veces la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 0,25 veces la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
 - Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0,4 veces el espesor mínimo.
 - Piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se encofran por una sola cara), en cuyo caso será menor que 0,33 veces el espesor mínimo.

PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS	
Porosidad y absorción	La porosidad y absorción de los áridos tiene una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. Igualmente, influye en el comportamiento frente a los ciclos de hielo - deshielo y en definitiva a su durabilidad. La EHE-08 exige que la absorción de agua por los áridos determinada según las normas UNE 83.133 y UNE 83.134 sea igual o inferior al 5 por 100.
Densidad	Cociente entre la masa seca de la muestra de árido y el volumen ocupado por su materia sólida, comprendiendo los huecos accesibles e inaccesibles contenidos en los granos. Por su densidad real se clasifican en: Áridos ligeros: Densidad real del grano $< 2 \text{ Kg/dm}^3$ Áridos normales: $2 \text{ Kg/dm}^3 < \text{densidad real del grano} < 3 \text{ Kg/dm}^3$ Áridos pesados: Densidad real del grano $< 3 \text{ Kg/dm}^3$
Resistencia mecánicas	Un mortero o un hormigón no pueden tener más resistencia a compresión que la que tienen los áridos que lo forman. Para calcularlo se hará, bien a través de probetas talladas de las rocas de las que proceden (UNE 83-111-87), determinando mediante un ensayo a compresión el índice de machacabilidad de un conjunto de áridos introducidos en un molde muy rígido (UNE 83-112-89), o mediante un ensayo a compresión de un hormigón confeccionado con los áridos a estudiar.
Dureza	Cuando los áridos van a utilizarse en obras en las que el hormigón va a estar sometido a desgaste o impacto es importante conocer la tenacidad de estos y su resistencia al impacto, la cual puede determinarse mediante golpeo de un martillo de una masa dada cayendo desde una altura determinada y durante cierto número de veces sobre una muestra de árido contenida en un recipiente (UNE 83-114-89). Los ensayos empleados en su determinación pueden ser de abrasión en pista de acero o bien de desgaste por rozamiento de unas partículas de roca contra otras.
Forma	La forma externa del árido tiene una gran influencia en algunas de las propiedades del hormigón fresco y endurecido, como la docilidad y la resistencia mecánica. La forma del árido grueso se expresará mediante su índice de lajas, según UNE EN 933-3, y su valor debe ser inferior a 35.
Adheren. pasta al árido	La adherencia de la pasta de cemento al árido depende de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente de su estado superficial. La superficie del árido debe ser la adecuada. La presencia en ella de arcilla es nefasta debido a que contribuye a disminuir la resistencia a tracción por falta de adherencia. Su eliminación debe hacerse por lavado.
Inestabilidad de los áridos	En zonas de baja temperaturas pueden producirse variaciones de volumen en los áridos debidas a los ciclos de deshielo; igualmente, pueden producirse por cambios térmicos a temperaturas superiores a 0°C o por cambios de humedad. Un árido se considera inestable cuando sus cambios volumétricos pueden afectar a la integridad del hormigón dando lugar a disgregaciones o fisuras. Para apreciar estos fenómenos se realiza el ensayo de tratamiento con sulfatos sódico o magnésico.
Sustancia perjudicial	Los áridos empleados en el hormigón pueden tener impurezas orgánicas que interfieran en el proceso de hidratación del cemento, que aumenten las exigencias de agua de amasado o disminuyan la adherencia de estos con el cemento repercutiendo por tanto en las resistencias. A los áridos pueden acompañarles sustancias que pongan en peligro la estabilidad del acero en el caso de hormigones armados o pretensados.

Tabla 0-5: Estudio de los áridos

ADITIVOS EN EL HORMIGÓN				
Familia	Función	Propiedad	Ventajas	Usos
Que modifican la reología	Plastificantes	- Favorece el deslizamiento de los granos de cemento y arena - Provocan retención de agua sobre masa en edades tempranas, que produce una lenta, y organizada cristalización - Productos pulverulentos extremadamente finos, insolubles en agua.	Hormigones: - Permite reducir el agua de amasado - Se obtienen mayores resistencias mecánicas y mayor compacidad e impermeabilidad. Morteros: - Permite reducir la aportación del agua de amasado - Aumento de la resistencia mecánica - Secado más rápido	- Para fabricar bloques, bovedillas... - Para obtener morteros más trabajables, compactos y con una tendencia mínima al fisuramiento.
	Fluidificantes reductores de agua	- Mantienen la dispersión de las partículas de cemento en una cantidad reducida de agua - Productos líquidos de naturaleza orgánica formados por macromoléculas - Se añade en el agua Ojo: Comprobar la compatibilidad con el cemento, sobre todo cuando contiene escorias.	En el hormigón fresco: - Más manejabilidad, resistencia y adherencia - Dispersa el cemento en la masa - Evita la segregación Hormigón endurecido: - Aumenta resistencia mecánica - Mejora compacidad - Impermeabilidad - Disminuye retracción y fluencia - Mejora acabado	- Para bombeo. - Hormigones con gran calidad estructural y acabado
	Superfluidificantes	- Los mismos efectos, que fluidificante debiéndose evitar dos efectos: - Exudaciones. - Segregaciones de finos.	- Permite obtener y mantener hormigones muy fluidos, incluso en tiempo caluroso. - Ralentiza el fraguado del cemento.	- Asegurar una trabajabilidad prolongada y buenas resistencias como en bombeos a grandes distancias, hormigones lentos en su puesta en obra, muros pantalla, transporte de hormigones en tiempo caluroso.

Familia		Función	Propiedad	Ventajas	Usos
Modificadores del tiempo de fraguado	Aceleradores del fraguado	- Reducen el tiempo de fraguado del cemento - Favorecen la disolución del cemento provocando un aumento en la velocidad de hidratación de la masa, dando lugar a resistencias iniciales altas	- Actúan por procesos físico-químicos. - Este tipo de aditivo tiene el inconveniente de que puede dar lugar a eflorescencias y corrosión de las armaduras, especialmente en hormigones que se encuentran en ambiente húmedo.	- Reducir en más de un 50% el tiempo normal de fraguado - Endurecimiento acelerado, resistencias considerablemente incrementadas a los 1, 3, y 8 días. - Permite hormigonado a temperaturas de hasta - 5° C.	- Se emplean en tiempo frío y para trabajos urgentes. - Hormigón prefabricado, Hormigones pretensados y postensados.
	Retardadores de fraguado	- Retrasan o aumentan el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento. - El empleo de éstos es delicado porque, si se emplean en dosis incorrectas, pueden inhibir el fraguado y endurecimiento del hormigón, por eso se emplean actualmente sustituyéndolos por fluidificantes.	- Actúan por procesos químicos. - Actúan químicamente como los acelerantes, retardando la hidratación y el inicio del fraguado del cemento. - Son de dos tipos: Inorgánicos (ZnO, PbO, PO₄H₃, BO₄H₃). Orgánicos (ácido orgánico, glicerina, Azúcares...) - Disminuyen las resistencias iniciales si bien, normalmente aumentan las finales.	- Retraso del fraguado, según la dosificación empleada. - Aumento de las resistencias finales. - Incremento de la adherencia. - Aceleración del proceso de curado, a partir del momento en que comienza el fraguado. - Mayor plasticidad del hormigón fresco, para una misma relación agua/cemento.	- Hormigonados en tiempo caluroso. - Transportes de hormigón a grandes distancias. - Continuaciones de hormigonados. Deben de realizarse juntas de trabajo o uniones de hormigón debido a la interrupción nocturna, fin de semana o muy altas temperaturas.
	Aceleradores de endurecimiento	- Aumentan o aceleran el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales.	- Actúan por procesos químicos. - Productos: Cloruros, Carbonatos... - Los productos con cloruros pueden producir corrosión. No utilizar en pretensados, suelos radiantes... - Los cloruros mejoran el hormigón frente a las heladas, al mejorar su docilidad y aumentar su compacidad. - Suelen producir retracciones.	- El endurecimiento se acelera desde las primeras horas que siguen a la puesta en obra del hormigón, consiguiéndose resistencias considerablemente incrementadas a los 1, 3, y 8 días.	- Obras que precisen entrar en carga en periodos breves.

Familia		Función	Propiedad	Ventajas	Usos
Incursores de aire	Incursores de aire	- Aumentar la porosidad del hormigón endurecido.	- Son compuestos generalmente resinosos o a base de aceites vegetales o minerales. Se presentan en forma líquida, de sales solubles o de polvos insolubles que se deben añadir en el momento del amasado.	- Mejoran la plasticidad y manejabilidad del hormigón. - Mejoran la resistencia a las heladas del hormigón endurecido (anticongelantes). - Producen disminución de las resistencias mecánicas.	- Variaciones climáticas extremas. - Hormigones de pavimentos para carreteras, hormigones para presas.
	Generadores de gas	- Aumentar la porosidad del hormigón endurecido. - Actúan por procesos físicos y químicos.	- Son productos que en vez de introducir aire en los morteros u hormigones, incluyen un gas resultante de una reacción química que queda en mayor o menor parte incluido en la masa.	- En pequeña proporción producen una ligera expansión del hormigón en estado fresco y una posterior retracción. - En cantidades más elevadas produce un importante volumen de gas formándose hormigón celular.	- Los generadores de gas se usan generalmente en la fabricación de morteros celulares de gran ligereza.
	Generadores de espuma	- Aumentar la porosidad del hormigón endurecido.	- Actúan por procesos físicos. - Proteínas orgánicas hidrolizadas en dispersión acuosa.	- Producen, por medios mecánicos, una espuma estable formada por burbujas de aire de tamaño variable, que se encuentran homogéneamente distribuidas dentro de la masa a la que confieren estructura alveolar.	- Usos Paneles y placas armadas, para tabiquería. - Revestimiento proyectado aislante térmico y anticondensante.
	Antiespumantes	- Eliminan el exceso de aire introducido en la masa mediante el empleo de ciertos áridos o aditivos utilizados para obtener otra función principal, distinta a la introducción de aire.	- Actúan por procesos físicos. - Microsílice. (Ver antiheladizos)	- Disminuyen la porosidad del hormigón endurecido. - Aumentan la durabilidad. - Mayor resistencia a ciclos hielo-deshielo. - Mayor resistencia a ambientes agresivos.	- Para hormigones que deban resistir ataques químicos y atmosféricos así como agresiones físicas y mecánicas.

Familia		Función	Propiedad	Ventajas	Usos
Mejora resistencia a acciones físicas	Antiheladizos	- Evitan que el hormigón, una vez endurecido se disgregue progresivamente por las heladas, (La mejor solución es compacidad y homogeneidad).	- Actúan por procesos físicos. - Los poros capilares se taponan y el diámetro equivalente de microporo se reduce notablemente	- Aumenta las resistencias químicas a cloruros, sulfatos, ácidos, ciclos de hielo-deshielo, reacción álcali-árido. - Mejor cohesión. - Mayor densidad y compacidad. Altas resistencias mecánicas.	- Hormigones resistentes a los ciclos hielo-deshielo, con elevada durabilidad, de alta densidad y de alta resistencia a compresión.
	Anticongelantes	- Rebajan el punto de congelación de la masa de hormigones y morteros en estado fresco, permitiendo llevar a cabo las labores de hormigonado en tiempo frío.	- Actúan por procesos físicos. - Suelen ser inclusores de aire, aceleradores de fraguado o de endurecimiento. Mejoran la resistencia frente a las heladas. - Mejor manejabilidad del hormigón ya que permite una reducción en el agua de amasado o mayor resistencia para una misma manejabilidad.	- Evita deformaciones por cambio de volumen. - Produce una aceleración en el fraguado del hormigón e incrementa la resistencia a corto plazo con lo que se obtiene un más rápido desencofrado del hormigón.	- Impermeabiliza morteros y hormigones.
	Repulsores de agua	- Disminuyen la capacidad de absorción capilar o la cantidad de agua que pasa a través de una masa saturada y sometida a un gradiente hidráulico.	- Actúan por procesos físicos. - Hidrófugos de masa: Se añaden en forma líquida o en polvo a mezclar en la hormigonera o con el agua de amasado. - Plastificantes que tapan los poros - Hidrófugos de Superficie. Se aplican con brocha sobre el hormigón duro	- Aumenta la impermeabilidad del hormigón endurecido - Faculta la permeabilidad a los vapores de agua - Mejora la trabajabilidad - Mantiene las resistencias mecánicas - Con un coste más bajo, impermeabilizaciones	- Indicado en aquellos trabajos con morteros y hormigones, que en invierno, se realizan con un ligero frío durante el día y se esperan heladas durante la noche o cuando se sospeche puedan producirse olas de frío

Familia		Función	Propiedad	Ventajas	Usos
Mejora resistencia ac. fisicoquímicas	Inhibidores corrosión de	- Aditivos cuya función principal es reducir la posibilidad de corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón o mortero. - Se debe especificar la clase de armadura sobre la que actúa el aditivo (inhibidor de corrosión para acero)	- Actúan por procesos físicos. - Aminoalcoholes e inhibidores inorgánicos	- Actúan como protección frente a la corrosión de armaduras	- Puentes, Túneles, Muros de contención... - Industrias en ambientes agresivos y estructuras próximas al mar.
	Modificadores reacción	- Dificultan la reacción entre ciertos áridos y los álcalis del cemento y reducen sus efectos expansivos. - Por la reducción de agua y gracias a la reactividad puzolánicas del humo de sílice se reduce la porosidad del hormigón endurecido.	- Actúan por procesos físicos. - Generalmente polvos minerales finos, humo de sílice.	- Aporta al hormigón una durabilidad excepcional frente a numerosos ambientes agresivos	- Para hormigones que deban resistir ataques químicos y atmosféricos, así como agresiones físicas y mecánicas (erosión, abrasión, etc.).
Otros	- Aditivos para el bombeo: Reducen el rozamiento externo de la mezcla con las superficies de las tuberías de conducción sin modificar la relación agua/ cemento. - Biosidas: Son herbicidas y fungicidas para que los organismos vegetales y animales no proliferen en el hormigón. - Aditivos para hormigones y morteros proyectados: Mejoran las condiciones de proyección al disminuir el descuelgue del material proyectado y el rechazo. - Aditivos para inyecciones: Aumentan la fluidez de los rellenos o morteros de inyección y reducen los riesgos de exudación y decantación. Son plastificantes o bien productos a base de polvo de aluminio que, por reacción con el cemento, provocan un desprendimiento de burbujas de hidrógeno. - Desencofrantes o desmoldeantes: Evita las adherencias en los moldes y los conserva en perfecto estado. No ataca la superficie del hormigón, ni penetra en el mismo. Los prefabricados desencofrados con estos productos pueden admitir perfectamente procesos posteriores de curado o enlucimiento. Emulsión líquida concentrada de aceites minerales refinados en base acuosa que forma película aceitosa y desencofrante para el moldeo de elementos de hormigón. Se aplica en encofrados metálicos, de madera, de PVC... - Colorantes: Son pigmentos que añadidos a la masa del hormigón en el momento de la mezcla, tienen por finalidad dar al mismo una coloración distinta a la que presenta. Son un material inerte → (máximo 10% en peso del cemento) Los pigmentos utilizados en la coloración del hormigón deben ser de naturaleza inorgánica debido a la gran estabilidad de color que se requiere. Cuando se quieren conseguir colores puros los pigmentos se mezclan con cemento blanco. Tienen que ser compatibles con la cal y no descomponerse con la que se libera durante el fraguado y endurecimiento del cemento, ser estables y no alterarse a la intemperie.				

Tabla 0-6: Aditivos del hormigón

ANEXO II: CARACTERÍSTICAS ACEROS PARA ARMADURAS

Aceros para armaduras pasivas

Barras y rollos de acero corrugado soldable.				
Sólo podrán emplearse barras o rollos de acero corrugado soldable que sean conformes con UNE EN 10080. En esta norma se definen los posibles diámetros nominales de las barras corrugadas (6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 20 – 25 – 32 y 40 mm).				
Salvo en el caso de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, se procurará evitar el empleo del diámetro de 6mm cuando se aplique cualquier proceso de soldadura, resistente o no resistente, en la elaboración o montaje de la armadura pasiva.				
Características mecánicas mínimas garantizadas por el Suministrador.				
Tipo de acero	Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²) ⁽¹⁾	≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ⁽¹⁾	≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,5}$ (%)	≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo (3)	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0
Relación f_s/f_y ⁽²⁾	≥ 1,05	≥ 1,05	1,20 ≤ f_s/f_y ≤ 1,35	1,15 ≤ f_s/f_y ≤ 1,35
Relación $f_{y \text{ real}} / f_{y \text{ nominal}}$	-	-	≤ 1,20	≤ 1,25

- 1) Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.
- 2) Relación admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenidos en cada ensayo.
- 3) En el caso de aceros corrugados procedentes de suministros en rollo, los resultados pueden verse afectados por el método de preparación de la muestra para su ensayo, que deberá hacerse conforme a lo indicado en el Anejo 23. Considerando la incertidumbre que puede conllevar dicho procedimiento, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de $\epsilon_{m\acute{a}x}$ que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

Composición química de las Barras y rollos de acero corrugado soldable (porcentajes máximos, en masa, por razones de soldabilidad y durabilidad).						
Análisis	C ⁽¹⁾	S	P	N ⁽²⁾	Cu	C _{eq} ⁽³⁾
Sobre colada	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Sobre producto	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

- 1) Se admite elevar el valor límite de C en 0,03%, si C_{eq} se reduce en 0,02%.
- 2) Se admiten porcentajes mayores de N si existe una cantidad suficiente de elementos fijadores de N.
- 3) C_{eq} = (Mn/6) + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15, donde los símbolos de los elementos químicos indican su contenido, en tanto por ciento en masa.

Tabla 0-1: Armaduras pasivas, barras y rollo de acero corrugado soldable

Alambres corrugados y alambres lisos					
Se entiende por alambres corrugados o grafilados aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE EN 10080.					
Se entiende por alambres lisos aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de elementos de conexión en armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE EN 10080.					
Los diámetros nominales de los alambres serán los definidos esta norma ajustándose a la serie -4 - 4,5 - 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 - 11 - 12 - 14 y 16 mm. Los diámetros 4 y 4,5 mm sólo pueden utilizarse en los casos indicados en 59.2.2.					
Tipo de acero para alambres (corrugados y lisos).					
Designación	Ensayo de tracción ⁽¹⁾				Ensayo de doblado-desdoblado, según UNE EN ISO 15630-1 $\alpha = 90^\circ$ ⁽⁵⁾ $\beta = 20^\circ$ ⁽⁶⁾ Diámetro de mandril D'
	Límite elástico f_y , (N/mm ²) ⁽²⁾	Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ⁽²⁾	Alargamiento de rotura sobre base de 5 diámetros A (%)	Relación f_s/f_y	
B 500 T	500	550	8 ⁽³⁾	1,03 ⁽⁴⁾	5 d ⁽⁷⁾

1) Valores característicos inferiores garantizados.

2) Para la determinación del límite elástico y la carga unitaria se utilizará como divisor de las cargas el valor nominal del área de la sección transversal.

3) Además, deberá cumplirse: $A \% \geq 20 - 0,02 f_{yi}$, donde: A es el alargamiento de rotura y f_{yi} es el límite elástico medido en cada ensayo.

4) Además, deberá cumplirse: $f_{si} / f_{yi} = 1,05 - 0,1 [(f_{yi} / f_{ki}) - 1]$ donde f_{yi} es el límite elástico medido en cada ensayo, f_{si} la carga unitaria obtenida en cada ensayo y f_{yk} el límite elástico garantizado.

5) α Ángulo de doblado.

6) β Ángulo de desdoblado.

7) d Diámetro nominal del alambre.

Tabla 0-2: Armaduras pasivas, alambres corrugados y alambres lisos

Tipos de aceros y armaduras normalizadas a emplear para las armaduras pasivas.						
Tipo de armadura	Armadura con acero de baja ductilidad		Armadura con acero soldable de ductilidad normal		Armadura con acero soldable y características especiales de ductilidad	
Ferralla armada	AP400 T	AP500 T	AP400 S	AP500 S	AP400 SD	AP500 SD
Alargamiento total bajo carga máxima, ϵ_{max} (%) ^(**)	-	-	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 7,5$
Tipo de acero	-	-	B 400 S B400SD (*)	B 500 S B 500SD (*)	B 400 SD	B 500 SD
Malla electrosoldada.	ME 400 T	ME 500 T	ME 400S ME 400SD	ME 500S ME 400 SD	ME 400SD	ME 500SD
Armadura básica electrosoldada en celosía.	AB 400T	AB 500 T	AB 400S AB 400 SD	AB 500S AB 500 SD	AB400SD	AB 500SD

(*) En el caso de ferralla armada AP400S ó AP500S elaborada a partir de acero soldable con características especiales de ductilidad, el margen de transformación del acero producido en la instalación de ferralla, conforme al apartado 69.3.2, se referirá a las especificaciones establecidas para dicho acero en la Tabla 32.2.a.

(**) Las especificaciones de ϵ_{max} de la tabla se corresponden con las clases de armadura B y C definidas en la EN 1992-1-1. Considerando lo expuesto en 32.2 para aceros suministrados en rollo, pueden aceptarse valores de ϵ_{max} que sean inferiores en un 0,5%.

En el caso de estructuras sometidas a acciones sísmicas, de acuerdo con lo establecido en la reglamentación sismorresistente en vigor, se deberán emplear armaduras pasivas fabricadas a partir de acero corrugado soldable con características especiales de ductilidad (SD).

Tabla 0-3: Armaduras pasivas, tipos

Aceros para armaduras activas

Alambres de pretensado. Producto de sección maciza, liso o grafilado, que normalmente se suministra en rollo.

Sus características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima $f_{m\acute{x}}$ no será inferior a los valores que figuran en la tabla siguiente:

Tipos de alambre de pretensado		
Designación	Serie de diámetros nominales (mm)	$f_{m\acute{x}}$ en N/mm ² no menor que
Y 1570 C	9,4 - 10,0	1.570
Y 1670 C	7,0 - 7,5 - 8,0	1.670
Y 1770 C	3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0	1.770
Y 1860 C	4,0 - 5,0	1.860

- El límite elástico f_y estará comprendido entre el 0,85 y el 0,95 de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{x}}$. Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada uno de los alambres ensayados.
- El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 %. Para los alambres destinados a la fabricación de tubos, dicho alargamiento será igual o superior al 5 %.
- La estricción a la rotura será igual o superior al 25 % en alambres lisos y visible a simple vista en el caso de alambres grafilados.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia de ± 7 %.

En los alambres de diámetro ≥ 5 mm o de sección equivalente, la pérdida de resistencia a la tracción después de un doblado-desdoblado (según UNE-EN ISO 15630-3) no será superior al 5 %.

El número mínimo de doblados-desdoblados que soportará el alambre en la prueba de doblado alternativo (según UNE-EN ISO 15630-3) no será inferior a:

Producto de acero para armadura activa	Número de doblados y desdoblados
Alambres lisos	4
Alambres grafilados	3
Alambres destinados a obras hidráulicas o sometidos a ambiente corrosivo	7

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20 \pm 1^\circ \text{C}$, y para una tensión inicial igual al 70 % de la carga unitaria máxima real no será superior al 2,5 % (alambres enderezados y con tratamiento de estabilización).

El valor medio de las tensiones residuales a tracción, deberá ser inferior a 50 N/mm^2 , al objeto de garantizar un comportamiento adecuado frente a la corrosión bajo tensión.

Los valores del diámetro nominal, en milímetros, de los alambres se ajustarán a la serie -3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 7,5 - 8 - 9,4 - 10.

Las características geométricas y ponderables de los alambres de pretensado, así como las tolerancias correspondientes, se ajustarán a lo especificado en la UNE 38094.

Tabla 0-4: Armaduras activas, alambres de pretensado

Barras de pretensado. Producto de sección maciza que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.
Las características mecánicas de las barras de pretensado, deducidas a partir del ensayo de tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3 deberán cumplir las siguientes prescripciones: - La carga unitaria máxima $f_{m\acute{x}}$ no será inferior a 980 N/mm^2. - El límite elástico f_y, estará comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{x}}$. Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada una de las barras ensayadas. - El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100. - El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia del ± 7 por 100.
Las barras soportarán sin rotura ni agrietamiento el ensayo de doblado especificado en la UNE-EN ISO 15630-3.
La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20^\circ \pm 10^\circ \text{C}$ y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada, no será superior al 3 por 100. (Ensayo según UNE-EN ISO 15630-3).

Tabla 0-5: Armaduras activas, barras de pretensado

Cordones de pretensado. Producto formado por un número de alambres arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común.		
Sus características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3, deberán cumplir las siguientes prescripciones:		
La carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ no será inferior a los valores a la de los cordones de 2 ó 3 alambres o a la de los cordones de 7 alambres.		
Cordones de 2 ó 3 alambres		
Designación	Serie de diámetros nominales (mm).	$f_{m\acute{a}x}$ (N/mm ²) no menor que:
Y 1770 S2	5,6 - 6,0	1.770
Y 1860 S3	6,5 - 6,8 - 7,5	1.860
Y 1960 S3	5,2	1.960
Y 2060 S3	5,2	2.060
Cordones de 7 alambres		
Designación	Serie de diámetros nominales (mm).	$f_{m\acute{a}x}$ (N/mm ²) no menor que:
Y 1770 S7	16,0	1.770
Y 1860 S7	9,3 – 13,0 – 15,2 – 16,0	1.860
- El límite elástico f_y estará comprendido entre el 0,88 y el 0,95 de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$. Esta limitación la cumplirán los valores mínimos garantizados y cada uno de los elementos ensayados. - El alargamiento bajo carga máxima, medido sobre una base de longitud igual o superior a 500 mm, no será inferior al 3,5 %. - La estriación a la rotura será visible a simple vista. - El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante, con una tolerancia de ± 7 %. - La relajación a las 1.000 horas a temperatura de $20^\circ \pm 1^\circ$ C, y para una tensión inicial igual al 70 % de la carga unitaria máxima real, determinada no será superior al 2,5 %. - El valor medio de las tensiones residuales a tracción del alambre central deberá ser inferior a 50 N/mm² al objeto de garantizar un comportamiento adecuado frente a la corrosión bajo tensión.		
El valor del coeficiente de desviación D en el ensayo de tracción desviada, según UNE EN ISO 15630-3, no será superior a 28, para los cordones con diámetro nominal igual o superior a 13 mm.		
Las características geométricas y ponderables, así como las correspondientes tolerancias, de los cordones se ajustarán a lo especificado en la UNE 36094.		

Tabla 0-6: Armaduras activas, cordones de pretensado

ACCESORIOS DEL ARMADO	
Tensado	Todos los aparatos utilizados en las operaciones de tesado deberán estar adaptados a la función, y cumplir: - Cada tipo de anclaje requiere utilizar un equipo de tesado, (recomendado por el suministrador del sistema). - Los equipos de tesado deberán encontrarse en buen estado con objeto de que su funcionamiento sea correcto, proporcionen un tesado continuo, mantengan la presión sin pérdidas y no ofrezcan peligro. - Los aparatos de medida incorporados al equipo de tesado, permitirán efectuar las correspondientes lecturas con una precisión del 2%. Deberán contrastarse cuando vayan a empezar a utilizarse y, posteriormente, cuantas veces sea necesario, con frecuencia mínima anual. - Se debe garantizar la protección contra la corrosión de los componentes del sistema de pretensado, durante su fabricación, transporte y almacenamiento, colocación y sobre todo durante la vida útil de la estructura.
Anclajes	Deberán cumplir las siguientes condiciones: - El coeficiente de eficacia de un tendón anclado será al menos igual a 0,95, tanto en el caso de tendones adherentes como no adherentes. Además de la eficacia se verificarán los criterios de no reducción de capacidad de la armadura y de ductilidad conforme a la Guía ETAG 013.

	- El deslizamiento entre anclaje y armadura debe finalizar cuando se alcanza la fuerza máxima de tesado (80% de la carga de rotura del tendón). Para ello: - Los sistemas de anclaje por cuñas serán capaces de retener los tendones de tal forma que, una vez finalizada la penetración de cuñas, no se produzcan deslizamientos respecto al anclaje. - Los sistemas de anclaje por adherencia serán capaces de retener los cordones de tal forma que, una vez finalizado el tesado no se produzcan fisuras o plastificaciones anormales o inestables en la zona de anclaje. - Para garantizar la resistencia contra las variaciones de tensión, acciones dinámicas y los efectos de la fatiga, el sistema de anclaje deberá resistir 2 millones de ciclos con una variación de tensión de 80 N/mm² y una tensión máxima equivalente al 65% de la carga unitaria máxima a tracción del tendón. Además, no se admitirán roturas en las zonas de anclaje, ni roturas de más del 5% de la sección de armadura en su longitud libre. - Las zonas de anclaje deberán resistir 1,1 veces la carga de rotura del anclaje con el coeficiente de eficacia indicado en el punto primero sobre cumplimiento de anclajes. - El diseño de las placas y dispositivos de anclaje deberá asegurar la ausencia de puntos de desviación, excentricidad y pérdida de ortogonalidad entre tendón y placa. Los ensayos necesarios para la comprobación de estas características serán los que figuran en la UNE 41184. - Los elementos que constituyen el anclaje deberán someterse a un control efectivo y riguroso y fabricarse de modo tal, que dentro de un mismo tipo, sistema y tamaño, todas las piezas resulten intercambiables. Además deben ser capaces de absorber, sin menoscabo para su efectividad, las tolerancias dimensionales establecidas para las secciones de las armaduras.	
Vainas	En los elementos estructurales con armaduras postensas es necesario disponer conductos adecuados para alojar dichas armaduras. Para ello, lo más frecuente es utilizar vainas que quedan embebidas en el hormigón de la pieza, o se recuperan una vez endurecido éste. Deben ser: - Resistentes al aplastamiento y al rozamiento de los tendones. - Permitir una continuidad suave del trazado del conducto, garantizando una correcta estanqueidad en toda su longitud. - No superar los coeficientes de rozamiento de proyecto durante el tesado. - Cumplir con las exigencias de adherencia del proyecto. - No causar agresión química al tendón. - Nunca penetrará en su interior lechada de cemento o mortero durante el hormigonado. - Los empalmes serán estancos. - El diámetro interior de la vaina, según el tipo y sección de la armadura que en ella vaya a alojarse, será el adecuado para que pueda efectuarse la inyección de forma correcta.	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center; vertical-align: middle;">Tipos</td><td> Vainas obtenidas con flejes metálicos corrugados enrollados helicoidalmente: Son tubos metálicos con resaltos o corrugaciones en su superficie para favorecer su adherencia al hormigón y a la lechada de inyección y aumentar su rigidez transversal y su flexibilidad longitudinal. Presentarán resistencia suficiente al aplastamiento para que no se deformen o abollen durante su manejo en obra, bajo el peso del hormigón fresco, la </td></tr> </table>	Tipos
Tipos	Vainas obtenidas con flejes metálicos corrugados enrollados helicoidalmente: Son tubos metálicos con resaltos o corrugaciones en su superficie para favorecer su adherencia al hormigón y a la lechada de inyección y aumentar su rigidez transversal y su flexibilidad longitudinal. Presentarán resistencia suficiente al aplastamiento para que no se deformen o abollen durante su manejo en obra, bajo el peso del hormigón fresco, la	

		acción de golpes accidentales, etc. También soportarán el contacto con los vibradores interiores, sin riesgo de perforación. Son las más frecuentemente utilizadas en pretensado interior para soportar presiones normales, para trazados con radios de curvatura superiores a 100 veces su diámetro interior. En losas o forjados pretensados de pequeño espesor, este tipo de vainas se pueden utilizar con sección ovalada para adaptarse mejor al espacio disponible.
		Vainas de fleje corrugado de plástico: Las características morfológicas son similares a las anteriores, con espesores mínimos de 1mm. Las piezas y accesorios de material plástico deberán estar libres de cloruros
Tubos aislantes	Tubos metálicos rígidos: Con un espesor mínimo de 2 mm, presentan características resistentes muy superiores a las vainas y se utilizan tanto en pretensado interior como exterior. Debe tenerse en cuenta, en pretensado interior, la escasa adherencia del tubo liso con el hormigón y con la lechada. Admiten por sí solas altas presiones interiores y por lo tanto son recomendadas para conseguir estanqueidad total en estructuras con alturas de inyección considerables. También son apropiadas para trazados con radios de curvatura pequeños.	
	Tubos de polietileno de alta densidad: Tendrán el espesor necesario para resistir una presión nominal interior de 0,63 N/mm ² en tubos de baja presión, en PE80, y de 1 N/mm ² para tubos de alta presión en PE80 o PE100. Se suelen utilizar para la protección de los tendones en pretensado exterior.	
	Tubos de goma hinchables: Deben tener la resistencia adecuada a su función y se recuperan una vez endurecido el hormigón. Para extraerlos, se desinflan y se sacan de la pieza tirando por un extremo. Pueden utilizarse para elementos de gran longitud con tendones de trazado recto, poligonal o curvo. Salvo demostración contraria, no se recomienda este tipo de dispositivo como vaina de protección, ya que desaparece la función pantalla contra la corrosión. Está recomendada en elementos prefabricados con juntas conjugadas, estando en este caso el tubo de goma insertado dentro de las propias vainas de fleje metálico, durante el hormigonado, con el fin de garantizar la continuidad del trazado del tendón en las juntas, evitando puntos de inflexión o pequeños desplazamientos.	
Inyección	Accesorios	- Tubo de purga o purgador: Pequeño segmento de tubo que comunica los conductos de pretensado con el exterior y que se coloca, generalmente, en los puntos altos y bajos de su trazado para facilitar la evacuación del aire y del agua del interior de dichos conductos y para seguir paso a paso el avance de la inyección. También se llama respiradero. - Boquilla de inyección: Pieza que sirve para introducir el producto de inyección en los conductos en los que se alojan las armaduras activas. Para la implantación de las boquillas de inyección y tubos de purga se recurre al empleo de piezas especiales en T. - Separador: Pieza generalmente metálica o de plástico que, en algunos casos, se emplea para distribuir uniformemente dentro de las vainas las distintas armaduras constituyentes del tendón. - Trompeta de empalme: Es una pieza, de forma generalmente troncocónica, que enlaza la placa de reparto con la vaina. En algunos sistemas de pretensado la trompeta está integrada en la placa de reparto.

		- Tubo matriz: Tubo, generalmente de polietileno, de diámetro exterior algo inferior al interior de la vaina, que se dispone para asegurar la suavidad del trazado.	
	Productos	Adherentes	- La fluidez medida mediante el método del cono de Marsh, de 100 mm de diámetro, debe ser menor que 25 s en el rango de temperaturas especificado por el fabricante, tanto inmediatamente después del amasado como 30 minutos después o hasta terminar la inyección o el tiempo definido por el fabricante o prescrito por el proyectista. En el caso de lechadas tixotrópicas su fluidez se debe medir con un viscosímetro y debe estar comprendida entre 120 g/cm² y 200 g/cm². - La cantidad de agua exudada después de 3 h debe ser menor que el 2% en el ensayo del tubo de exudado en el rango de temperaturas definido por el fabricante. - La reducción de volumen no excederá del 1%, y la expansión volumétrica eventual será inferior al 5%. Para las lechadas fabricadas con agentes expansivos, no se admite ninguna reducción de volumen. - La relación agua/cemento deberá ser menor o igual que 0,44. - La resistencia a compresión debe ser mayor o igual que 30 N/mm² a los 28 días. - El fraguado no debe empezar antes de las 3 h en el rango de temperaturas definido por el fabricante. El final del fraguado no debe exceder de las 24 h. - La absorción capilar a los 28 días debe ser menor que 1g/cm².
		No Adherentes	- Estos productos están constituidos por grasas, ceras, polímeros, productos bituminosos, poliuretano o, en general, cualquier material adecuado para proporcionar a las armaduras activas la necesaria protección sin que se produzca adherencia entre éstas y los conductos. - El fabricante debe garantizar la estabilidad física y química del producto seleccionado durante toda la vida útil de la estructura o durante el tiempo de servicio del producto, previsto en el proyecto, en el caso de que éste vaya a ser repuesto periódicamente durante la vida útil de la estructura. - Para poder utilizar los productos de inyección no adherentes será preciso que estos aparezcan como parte del documento de idoneidad técnico europeo del sistema de pretensado

Tabla 0-7: Accesorios del Armado del hormigón

ANEXO III: RESISTENCIA A ESFUERZO RASANTE

a) El método M-K

El cortante vertical $V_{I,Rd}$, (obtenido de forma semiempírica) que puede soportar un forjado mixto de ancho b viene dado por:

$$V_{I,Rd} = \frac{b \cdot d_p \cdot \left(\frac{m \cdot A_p}{b \cdot L_s} + k \right)}{1,25}$$

- L_s es la luz de cortante que se define a continuación, m y k (en N/mm²) coeficientes obtenidos por ensayos que se describen más adelante y los demás símbolos como antes, expresando b , d_p y L_s en mm y A_p en mm². La condición de resistencia es, $V_{sd} \leq V_{I,Rd}$. Siendo V_{sd} el valor de cálculo del cortante vertical máximo que actúa sobre el ancho b del forjado.

La luz de cortante L_s debe tomarse:

- $L/4$ para carga uniforme en toda la longitud del vano.
- Para dos fuerzas puntuales iguales y simétricas, L_s será la distancia entre la carga y el apoyo más cercano.
- Para otras disposiciones, incluyendo combinación de cargas distribuidas y puntuales asimétricas, debe hacerse una hipótesis basada en ensayos o cálculos aproximados. Por ejemplo, como aproximación para L_s podríamos tomar la correspondiente al momento máximo dividido entre la máxima fuerza vertical más cercana a los soportes, en el vano considerado.

Cuando el forjado mixto está diseñado como continuo, está permitido utilizar un vano equivalente isostático. La luz del vano deberá ser tomada como:

- $0,8L$, para vanos interiores
- $0,9L$, para vanos extremos

b) Método de la conexión parcial:

Aplicable a forjados de comportamiento dúctil (definido por los ensayos posteriormente) y permite tener en cuenta la contribución de los anclajes extremos siempre que se verifique su validez.

Debe verificarse que el momento de diseño no exceda al momento resistente, $M_{p,Rd} \geq M_{sd}$, pero ahora, para tener en cuenta la conexión parcial, sustituiremos en el momento resistente N_{cf} por N_c :

$$N_c = b \cdot L_x \cdot \tau_{u,Rd} \leq N_{cf}$$

Donde $\tau_{u,Rd}$ es el valor de diseño de la resistencia a rasante obtenido por los ensayos normalizados de forjados (se toma el menor de los ensayos reducido en un 10% y $= 1,25 \gamma_{Vs}$). L_x es la distancia de la sección considerada al apoyo más cercano. Y con z el brazo de palanca:

$$z = h_t - 0,5 \cdot x - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_c}{A_p \cdot f_{yp,d}}$$

x la profundidad comprimida de hormigón:

$$x = \frac{N_c}{b \cdot (0,85 \cdot f_{cm})} \leq h_c$$

En la expresión de N_c podría ser incrementado por $\mu \cdot R_{Ed}$, con $\mu = 0,5$ y R_{Ed} la reacción del soporte. Conocido $\tau_{u,Rd}$ se puede determinar L_{sf} como:

$$L_{sf} = \frac{N_{cf}}{b \cdot \tau_{u,Rd}}$$

Para $L_x \geq L_{sf}$ hay conexión completa y es crítica la resistencia a flexión.

Para $L_x < L_{sf}$ hay conexión parcial y es crítica la resistencia a rasante.

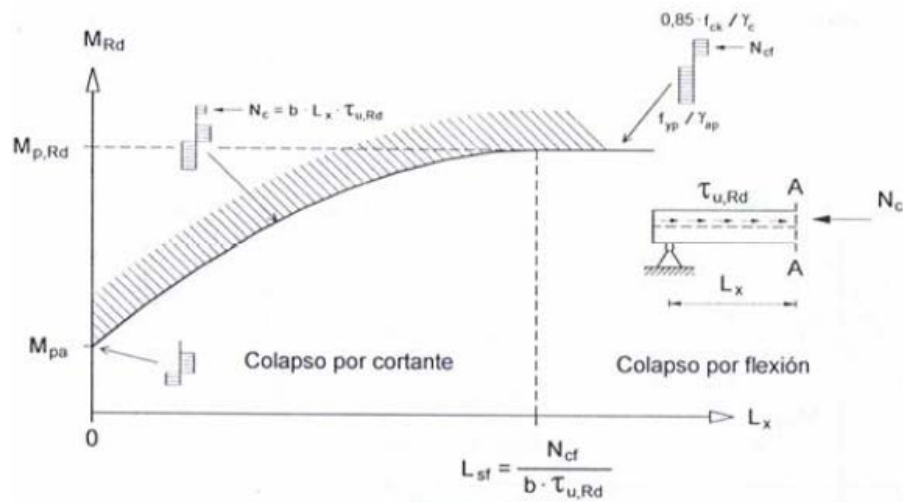


Figura 0-1: Límite de conexión parcial en función de los valores N_c y N_{cf}

ANEXO IV: FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO

Actuaciones en elementos de separación verticales

En general, las actuaciones en los elementos de separación verticales comprenden la aplicación de capas de yeso o mortero para aumentar la estanquidad de las soluciones existentes de fábrica, la instalación de un trasdosado ya sea de placa de yeso o de ladrillo, la inserción de materiales absorbentes en las cámaras y el sellado del perímetro de los trasdosados.

La mayoría de estas actuaciones conllevan una reducción de la superficie útil de los recintos en al menos 6 cm y hacen que sea necesario el replanteo de las instalaciones de calefacción o de las cajas para mecanismos eléctricos, tales como enchufes e interruptores. Incluso en algunos casos pueden acarrear cambios en los acabados de los edificios, que pueden ser significativos si se trata de edificios protegidos.

Además, muchas veces los trasdosados no pueden aplicarse por las dos caras, debido a, por ejemplo, la imposibilidad, de actuar por alguno de los lados. Este tipo de mejoras en los elementos de separación verticales, pueden ser suficientes cuando los niveles de ruido generados son los propios de la actividad vecinal (conversaciones, radio y TV con niveles moderados, etc.). En el caso de que se requiera un nivel de aislamiento acústico mayor, debido a que los recintos colindantes sean de instalaciones o de actividad, se debe proceder a realizar una solución de más aislamiento acústico en la que la mejor opción es conseguir la desconexión estructural de los recintos ruidosos, actuándose de forma conjunta en los elementos de separación vertical, horizontal y tabiquería.

De forma más concreta podemos hablar de las siguientes actuaciones en los elementos verticales de separación:

Actuación	Ventajas	Inconvenientes
<u>El trasdosado directo o autoportante:</u> El directo consiste en un panel compuesto por una placa de yeso laminado adherida a una capa de un material absorbente. Este panel puede ir pegado a la pared mediante pelladas de yeso o anclado a una perfilería. Está formado por una placa de yeso laminado anclada a una perfilería autoportante y separada de la hoja de fábrica y con una cámara rellena de un material absorbente acústico. Al no existir conexión entre el trasdosado y la hoja de fábrica, este tipo de trasdosado tiene unas mejores prestaciones que el trasdosado directo.	- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas. - Puede usarse en casos en los que no se puede actuar en ambos lados del elemento de separación, por ejemplo, en los elementos de separación entre una vivienda y las zonas comunes.	- Con esta actuación se da una reducción de superficie útil sólo en una unidad de uso de al menos 7 cm. - Molestias a los ocupantes por la obra.

<u>Trasdosar la fábrica por ambas caras con un trasdosado directo o autoportante:</u> Exactamente igual que el anterior pero por ambas caras del muro.	- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas. Es una solución simétrica. - La carga en la estructura es mínima y aumenta el aislamiento térmico.	- No es posible si la actuación se lleva a cabo en una sola vivienda. - Reducción de superficie útil, mínimo 7 cm por usuario. - Molestias a los ocupantes por la obra.
<u>Trasdosar la fábrica por una sola cara con un tabique de ladrillo hueco con bandas elásticas en el perímetro:</u> Igual que los anteriores pero en este caso utilizamos ladrillos en lugar de yeso.	- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas. - Puede usarse en casos en los que no se puede actuar en ambos lados del elemento de separación, por ejemplo, en los elementos de separación entre una vivienda y las zonas comunes.	- Reducción de superficie útil en al menos 10 cm por sólo una unidad de uso. - Molestias a los ocupantes por la obra.
<u>Injectar un material absorbente acústico en la cámara:</u> Existen algunos materiales con un buen coeficiente de absorción acústica que pueden inyectarse en las soluciones de dos hojas de fábrica en las que no existe un material absorbente acústico, como por ejemplo el poliuretano de celda abierta.	- Aumenta mínimamente el aislamiento acústico en la vía directa. - La carga en la estructura es mínima. - No hay reducción de la superficie útil. - Mínimas molestias a los usuarios.	- El aumento del aislamiento acústico obtenido es inferior al obtenido con otro tipo de actuaciones.
<u>Sustituir una partición por otro elemento de más aislamiento acústico:</u> Esta actuación sólo es posible si se trata de sustituir un elemento de separación no portante. Se proponen dos tipos de particiones por su espesor y su escaso peso: - Dos hojas de ladrillo hueco o gran formato de 7 cm de espesor cada una, apoyadas sobre bandas elásticas y cámara de al menos 4 cm de espesor rellena de un material absorbente acústico. Espesor total: 20 cm. - Dos hojas de entramado autoportante formada cada una por 2 placas de yeso laminado de al menos 12,5 mm, ancladas a una perfilera de acero de 48 mm de espesor y lana mineral en la cámara. Espesor mínimo: 16,7 cm.	- Esta actuación aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas. - Dependiendo de cómo sea la partición sustituida, se produce una mayor o menos pérdida de espacio libre en los recintos.	- Molestias a los ocupantes, por la obra que suelen durar varios días. - Se generan escombros. - Coste elevado con respecto a otras alternativas.

Tabla 0-1: Actuaciones en elementos de separación verticales (tomada de [10])

Actuaciones en elementos de separación horizontales

Los elementos de separación horizontal deben proveer suficiente aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos entre unidades de uso.

En edificios existentes anteriores a 1940 es común encontrar forjados de madera. No existen datos sobre las prestaciones de forjados de madera en España, pero si se puede decir que su aislamiento acústico a ruido aéreo depende de las capas de relleno que tengan. Es común encontrar que el entrevigado está relleno con yesones y que previo a la colocación del pavimento se ha colocado una o varias camas de arena y mortero de agarre, lo que confiere una mayor masa y por tanto, más aislamiento acústico. Además, la existencia de un falso techo de escayola o cañizo también influye positivamente en su aislamiento acústico.

En el caso de los forjados de hormigón, su aislamiento acústico a ruido aéreo depende fundamentalmente de su masa. De tal forma, que a menos que trate de un forjado muy ligero, por ejemplo, un forjado de menos de 200 - 250 kg/m², el aislamiento a ruido aéreo no es el principal problema.

El problema de los forjados en la edificación española es su aislamiento acústico a ruido de impactos, que suele ser deficiente y el mejor modo de resolverlo es:

- Colocar sobre la cara superior del forjado un elemento elástico flexible, como una moqueta, revestimiento de caucho, linóleo, etc. lo cual reduce la energía transmita al forjado. Esta medida no mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo, pero es eficiente al aumentar el aislamiento a ruido de impactos.
- Colocar una lámina elástica intermedia entre el pavimento o recrecido y la estructura horizontal del edificio, con lo que se provoca una discontinuidad perpendicular a la dirección del recorrido de las ondas de vibración y por tanto se transmite una menor energía al recinto colindante.

Cuando se trata de pequeñas reformas en una vivienda dentro de un bloque, estas actuaciones suelen ser inviables, pues implica actuar en el suelo de la vivienda del piso superior. Independientemente de la problemática del ruido de impactos, pueden efectuarse estas dos operaciones en los elementos de separación horizontales:

Actuación	Ventajas	Inconvenientes
<u>Instalando un suelo flotante</u> - Sobre el solado existente. - Sustituyendo el solado existente por un suelo flotante. Consiste en levantar las capas de arena y/o mortero que sirven de soporte del pavimento para colocar en el mismo espesor una lámina antiimpacto.	- No genera escombros - No se modifica la altura libre de los recintos	- Puede disminuir la altura libre existente. - Se pueden producir escalones y discontinuidades. - Implica rebajar puertas y jambas - Se debe vigilar que no se produzca conexión entre el forjado y el suelo flotante - Genera escombros y trastornos a los obreros

Por suelo flotante se entienden las soluciones siguientes: - Tarima flotante, compuesta generalmente por un laminado de madera y un material elástico, como por ejemplo, el PE. - Solera seca, compuesta por dos o más placas de yeso laminado solapadas y pegadas entre sí, dispuestas sobre un material aislante a ruido de impactos como lana mineral o poliestireno expandido elastificado. - Suelo flotante de mortero, compuesto por una capa de mortero de al menos 50 mm, dispuesta sobre un material aislante a ruido de impactos, como la lana mineral, el polietileno o el poliestireno expandido elastificado.	- Reduce el nivel de presión de ruido de impactos - Es una solución muy económica - Es una solución seca, fácil de instalar, normalmente en su instalación no se generan escombros. - No incrementa la carga de la estructura por su ligereza. - Reduce el nivel de presión de ruido de impactos. - Mejora mínimamente el aislamiento a ruido aéreo. - Es una solución seca. Su instalación es rápida, sin tiempos de secado. - No incrementa la carga de la estructura por su ligereza, siendo interesante para la rehabilitación de estructuras de madera. - Mejora el aislamiento térmico. - De las tres soluciones mostradas, ésta es la que mayor aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos produce. - Mejora el aislamiento térmico.	- No mejora el aislamiento a ruido aéreo. - Reduce la altura libre, mínimamente, 13 mm como mínimo. - Su espesor es de 4 cm más el espesor del pavimento que se pega encima, por lo que si se instala sobre un suelo existente, se reduce la altura libre en esta medida - Reduce la altura libre, en 55-60 mm más el espesor del pavimento como mínimo. - Incrementa la carga de la estructura en 0,8-1KN/m². - Es la más costosa de las tres opciones.
<u>Actuar en el techo del recinto colindante.</u> Esta actuación está indicada si el problema es el ruido aéreo entre dos recintos, ya que a pesar de que la instalación de un falso techo rebaja los niveles de ruido de impactos, su aislamiento a ruido aéreo es mayor.	- Aumenta el aislamiento a ruido aéreo en la vía directa (10-15 dBA) y también en la vía indirecta con los recintos colindantes	- Disminución de la altura libre aproximadamente unos 10cm - Cambios en la colocación de puntos de luz y registros eléctricos.

Tabla 0-2: Actuaciones en elementos de separación horizontales (tomada de [10])

ANEXO V: CARGAS DE CONSTRUCCIÓN

1.- Las cargas de construcción (Q_c) se pueden representar para las situaciones de proyecto correspondiente, bien como única acción variable o, cuando proceda, como diferentes tipos agrupadas y aplicadas como única acción variable. Se deberían considerar que las cargas de construcción individuales o agrupadas actúan, cuando sea apropiado, simultáneamente con otras cargas diferentes a las de construcción.

Las cargas de construcción a considerar se indican en la siguiente tabla 0-1.

2.- Los valores característicos de cargas de construcción, incluyendo las componentes verticales y horizontales cuando se proceda, se deben determinar respecto a los requisitos técnicos para la ejecución de obras y los requisitos de la norma EN 1990. Los más característicos se definen a continuación:

Estados límites últimos	Para situaciones de proyecto transitorias, accidentales y sísmicas, las verificaciones deberán basarse en combinaciones de acciones aplicando coeficientes parciales γ_F y los factores ψ apropiados (Anexo A1 Norma EN 1990). - Los valores recomendados son $\psi_0 = 0,6 - 1,0$ - Valor mínimo $\psi_2 = 0,2$ - ψ_1 no aplicable a cargas de construcción durante ejecución.
Estados límites servicio	Se tendrán en cuenta las acciones por combinación característica y cuasipermanente, tal como se recoge en EN 1990. Valores recomendados de ψ en notas 1 y 2 capítulo A1.1
Acciones horizontales	A tener en cuenta acciones debidas a viento y efectos de imperfecciones y deformaciones de desplome El valor recomendado es un 3% de la fuerza vertical correspondiente a la combinación más desfavorable.

Tabla 0-1: Reglas adicionales para edificios (tomada de [5])

3.- Las acciones horizontales resultantes de los efectos de las cargas de construcción deben determinarse y considerarse en el proyecto estructural de una estructura parcialmente acabada, así como para la estructura completa.

4.- También se tendrán en cuenta si hay efectos dinámicos.

Cargas de Construcción (Q_c)				
Acciones			Representación	Notas y observaciones
Tipo	Símbolo	Descripción		
Personal y herramientas de mano	Q_{ca}	Personal de obra, plantilla y visitantes, posiblemente con herramientas de mano y otros equipos ligeros	Representada como carga uniformemente distribuida, q_{ca} , y aplicada de forma que se obtenga el efecto más desfavorable	NOTA 1 El valor característico $q_{ca,k}$ de la carga uniformemente distribuida se pueden definir en el anexo nacional correspondiente o para cada proyecto particular. NOTA 2 El valor recomendado es $1,0 \text{ kN/m}^2$. Véase también el apartado 4.11.2
Acopio de material móvil	Q_{cb}	Acopio de material móvil, por ejemplo: – elementos prefabricados, material de construcción y – equipos.	Representada como una acción libre, y debería representarse como: – una carga uniformemente repartida q_{cb}. – una carga concentrada F_{cb}	NOTA 3 Los valores característicos de la carga uniformemente repartida y de la carga concentrada se pueden definir en el anexo nacional correspondiente o para cada proyecto particular. Para puentes se recomiendan los siguientes valores: – $q_{cb,k} = 0,2 \text{ kN/m}^2$ – $F_{cb,k} = 100 \text{ kN}$ donde $F_{cb,k}$ se puede aplicar sobre un área nominal para el cálculo de los detalles constructivos. Para los valores de las densidades de los materiales, véase la Norma EN 1991-1-1
Equipamiento no permanente	Q_{cc}	Equipos no permanentes listos para su uso durante la ejecución, o bien: – estática (por ejemplo paneles de encofrado, andamiaje, cimbra, maquinaria, contenedores); o – durante el movimiento (por ejemplo encofrado deslizante, vigas de lanzamiento, nariz de corrimiento, contrapesos).	Representada como carga libre, y debería representarse como: – una carga uniformemente repartida q_{cc}	NOTA 4 Estas cargas pueden definirse para el proyecto particular usando la información proporcionada por el suministrador. A no ser que haya disponible información más precisa, las cargas pueden modelarse con una carga uniformemente repartida con un valor característico mínimo recomendado de $q_{cc,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$. Se dispone de un rango de códigos de diseño de CEN; por ejemplo, véase la Norma EN 12811, y para el diseño de encofrados y cimbras, véase la Norma EN 12812.
Maquinaria y equipos pesados móviles	Q_{cd}	Maquinaria y equipos pesados móviles, habitualmente con ruedas o vías (por ejemplo, grúas, elevadores, vehículos, carretillas elevadoras, instalaciones eléctricas, gatos, dispositivos de elevación pesados)	Debería representarse según la información dada en las partes relevantes de la Norma EN 1991, a no ser que se especifique de otro modo.	La información para la determinación de las acciones producidas a los vehículos puede encontrarse en la Norma EN 1991-2, si no se define en la especificación del proyecto. La información para la determinación de las acciones relativas a las grúas se da en la Norma EN 1991-3.
Acumulación de material de deshecho	Q_{ce}	La acumulación de material de deshecho (por ejemplo materiales de construcción excedentes, suelos excavados o material de demolición).	Se tiene en cuenta considerando los posibles efectos de masa en elementos horizontales, inclinados y verticales (como paredes).	NOTA 5 Estas cargas pueden variar significativamente y en cortos periodos de tiempo, dependiendo en los tipos de materiales, las condiciones climáticas, el ritmo de acumulación y demolición, por ejemplo.
Cargas de partes de una estructura en fase temporal	Q_{cf}	Las cargas de partes de una estructura en fase temporal (en ejecución) antes de que actúen las acciones de proyecto finales (por ejemplo las cargas de operaciones de elevación)	Se tiene en cuenta y representa de acuerdo con las secuencias de ejecución previstas, incluyendo las consecuencias de esas secuencias (por ejemplo los efectos de las cargas y las reacciones a las cargas, debidas a procesos particulares de construcción, como montaje)	Véase también el apartado 4.11.2 para cargas adicionales debidas al hormigón fresco

γ

Tabla 0-2: Representación de las cargas de construcción (tomada de [14])

ANEXO VI: LONGITUDES MÍNIMAS DE ANCLAJE EN ARMADURAS

La longitud básica de anclaje $l_{b,rqd}$ necesaria, debe tener en cuenta el tipo de acero y las propiedades de adherencia de las barras, siendo para anclar una fuerza $A_s \sigma_{sd}$ en una barra recta suponiendo la tensión de adherencia constante e igual a f_{bd} :

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

Donde σ_{sd} es la tensión de cálculo de la barra en la posición a partir de la cual se mide el anclaje.

Los valores para f_{bd} serán:

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

Dónde:

f_{ctd} es el valor de cálculo de la resistencia del hormigón a tracción, limitando el valor a C60/70, a menos que se puede comprobar que la resistencia de adherencia media aumenta por encima de este límite.

η_1 es un coeficiente relacionado con la calidad de la condición de adherencia y la posición de la barra durante el vertido del hormigón.

- $\eta_1 = 1,0$ cuando se obtienen buenas condiciones.
- $\eta_1 = 0,7$ para todos los demás casos y para encofrados deslizantes.

η_2 está relacionado con el diámetro de la barra

- $\eta_2 = 1,0$ para $\phi \leq 32\text{mm}$
- $\eta_2 = (132 - \phi)/100$ para $\phi > 32\text{mm}$

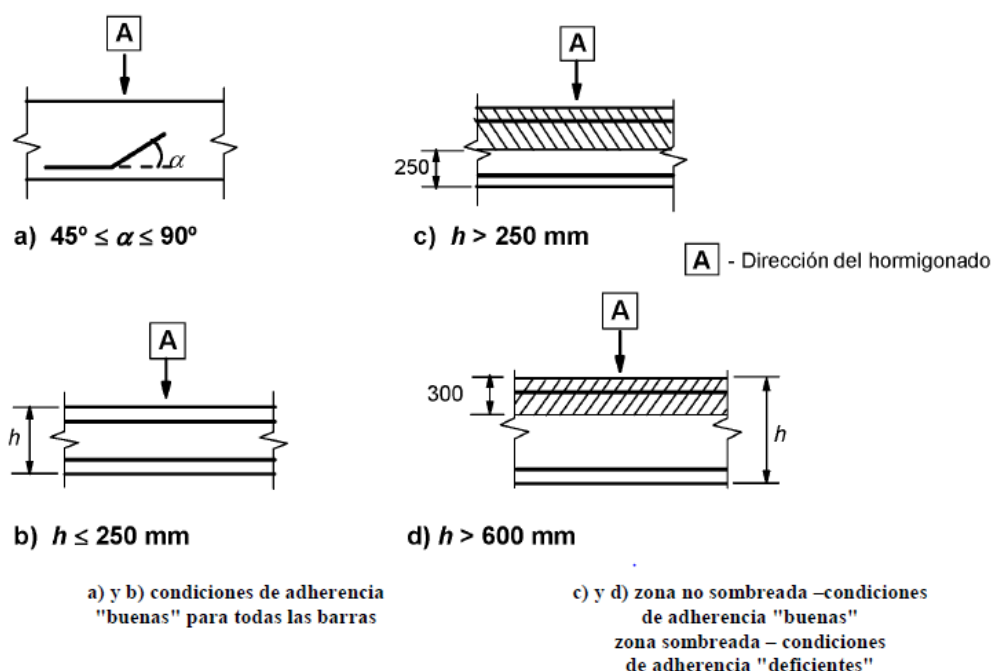


Figura 0-1: Descripción de las condiciones de adherencia (tomada de [18])

En el caso de barras en patilla, la longitud básica de anclaje necesaria y la longitud neta de anclaje se deberían medir a lo largo del eje de la barra.

En el caso de pares de alambres/barras formando mallas electrosoldadas, se debería reemplazar el diámetro ϕ por el diámetro equivalente $\phi_n = \phi\sqrt{2}$

Por otro lado, la longitud neta de anclaje viene dada por la siguiente expresión:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

- α_1 evalúa el efecto de las formas de las formas de las barras suponiendo un recubrimiento adecuado.

- α_2 evalúa el efecto del recubrimiento mínimo de la armadura

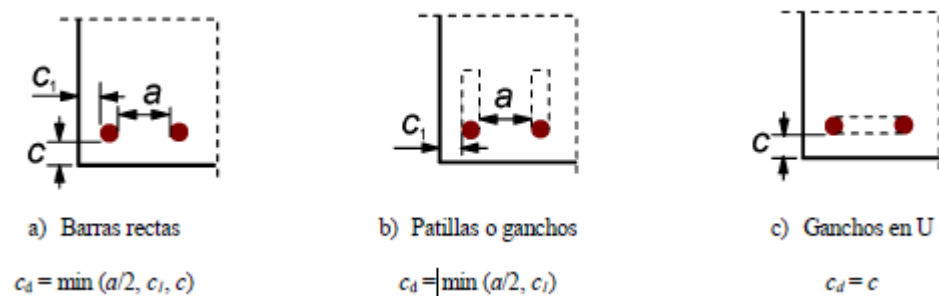


Figura 0-2: Valores de recubrimiento (tomada de [18])

- α_3 evalúa el efecto del confinamiento debido a la armadura transversal

- α_4 evalúa la influencia de una o más barras transversales soldadas

- α_5 evalúa el efecto de la presión transversal al plano de hendimiento a lo largo de la longitud neta de anclaje

Factor que influye	Tipo de anclaje	Barra de armadura	
		En tracción	En compresión
Forma de las barras	Prolongación recta	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Distinto de prolongación recta [véanse las figuras 8.1 (b), (c) y (d)]	$\alpha_1 = 0,7$ si $c_d > 3\phi$ en otro caso $\alpha_1 = 1,0$ (véase la figura 8.3 para valores de c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Recubrimiento del hormigón	Prolongación recta	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Distinto de prolongación recta [véanse las figuras 8.1 (b), (c) y (d)]	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (véase la figura 8.3 para valores de c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Confinamiento debido a la armadura transversal no soldada a la armadura central	Todos los tipos	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Confinamiento debido a la armadura transversal soldada*	Todos los tipos, posiciones y tamaños especificados en la figura 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Confinamiento debido a la presión transversal	Todos los tipos	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	—
donde $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$; ΣA_{st} área de la sección de armadura transversal a lo largo de la longitud neta de anclaje l_{bd}; $\Sigma A_{st,min}$ área de la sección transversal de la armadura transversal mínima; $= 0,25 A_s$ para vigas y 0 para losas; A_s área de la barra anclada de diámetro mayor; K los valores se indican en la figura 8.4; p presión transversal [MPa] en estado límite último a lo largo de l_{bd}. * Véase también el apartado 8.6: para apoyos directos se puede tomar l_{bd} menor que $l_{b,min}$ siempre y cuando haya al menos un alambre transversal soldado dentro del apoyo. Dicho alambre se debería ubicar al menos a 15 mm desde la cara del apoyo.			

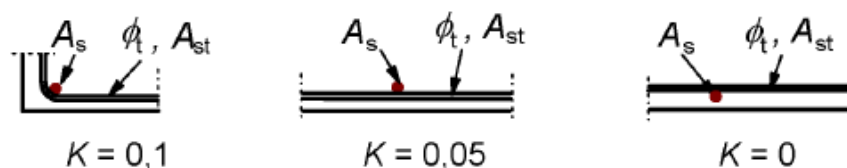


Figura 0-3: Valores de los coeficientes α_1 α_2 α_3 α_4 α_5 (tomada de [18])

El producto $(\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5) \geq 0,7$

Así, para la $l_{b,min}$ si no se aplica ninguna otra limitación:

- para anclajes en tracción: $l_{b,min} \geq \text{máx. } (0,3l_{b,rqd}; 10\phi, 100\text{mm})$
- para anclajes en compresión: $l_{b,min} \geq \text{máx. } (0,6l_{b,rqd}; 10\phi, 100\text{mm})$

Como alternativa simplificada, se puede disponer de una longitud de anclaje equivalente, en lugar de los anclajes en tracción de ciertas formas que se indican en el Eurocódigo 2, esta se define como:

- $\alpha_1 l_{b,rqd}$ para formas b y d en la siguiente figura
- $\alpha_4 l_{b,rqd}$ para forma e de la siguiente figura

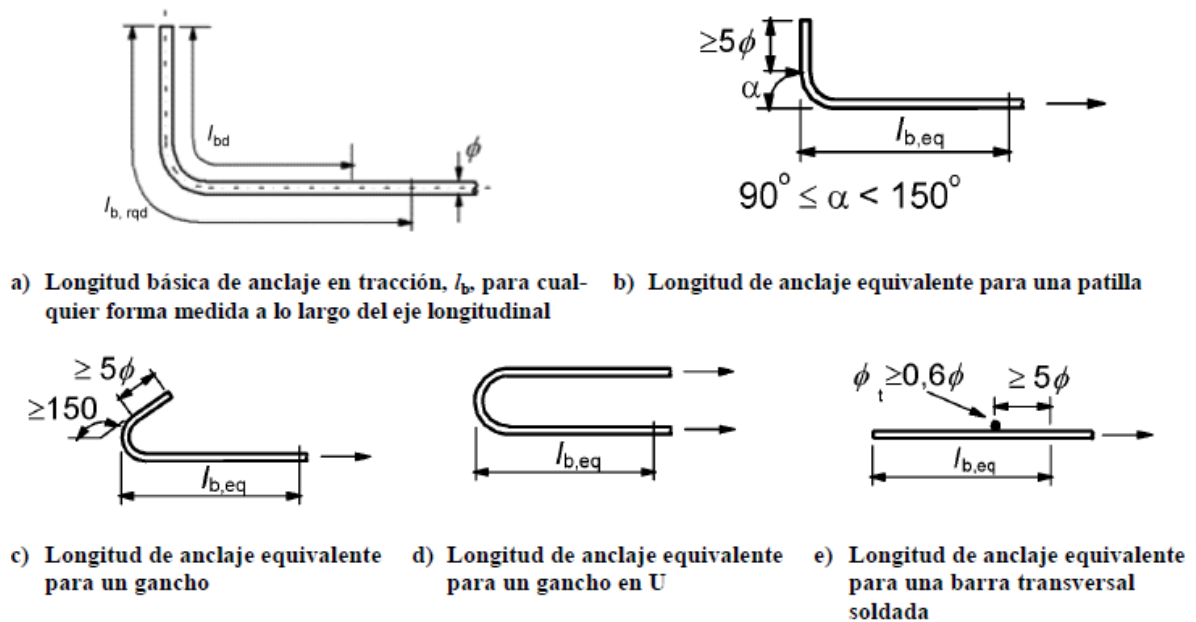


Figura 0-4: Variaciones de anclajes de armaduras (tomada de [18])

ANEXO VII: CONECTORES Y PERNOS

En el diseño de los forjados mixtos de chapa colaborante, la utilización de pernos conectores es opcional. A continuación se dan las directrices básicas a seguir, en el caso de utilizarse, para conectores soldados y conectores clavados.

Los pernos conectores soldados a través de la chapa son usualmente de 19 mm de diámetro y de 75 a 150 mm de longitud, con una cabeza de aproximadamente de 28 mm de diámetro. El límite de rotura del material es 450 N/mm² y su alargamiento a la rotura deberá ser superior al 15 %. Los pernos se acortan unos 5 mm al ser soldados.

Deberán respetarse las siguientes reglas durante la colocación de los pernos conectores:

- El espesor del ala de la viga de soporte no será inferior a 7,6 mm (para soldar pernos de 19 mm). Este límite aumenta para diámetros superiores de pernos conectores (consultar al fabricante).
- Los pernos conectores soldados deben sobresalir 35 mm por encima de la cara superior de la chapa y deben tener un recubrimiento mínimo de hormigón por encima de su cabeza de 15mm. Para impedir daños en la chapa, los pernos conectores se colocarán sobre líneas predeterminadas y marcadas sobre la chapa. La distancia entre el límite del perno conector y el límite de la chapa no será inferior a 20mm. La separación entre pernos conectores no será inferior a 95 mm en la dirección de los esfuerzos rasantes, y de 76 mm en la dirección perpendicular a los citados esfuerzos.
- La separación entre pernos conectores no será superior a 450mm.
- Los pernos conectores se colocan normalmente en cada onda del perfil, en ondas alternas, o, en algunos casos, por pares en cada onda. Si existen pernos conectores adicionales indicados en planos serán posicionados en igual cantidad respecto a los dos límites de la viga considerada.
- En ciertas chapas grecadas modernas existe un rigidizador central en la onda que implica que no sea posible soldar el perno conector centrado en la misma. Un lado es favorable y el otro desfavorable dependiendo de la sección de hormigón frente al perno conector. Se recomienda que los pernos conectores estén posicionados sobre el lado favorable de cada rigidizador, el cual es, lógicamente, el más próximo al final de la viga. Ello implica un cambio de posición relativa respecto al punto central de la viga.
- Opcionalmente, los pernos conectores pueden posicionarse de forma alterna a cada lado del rigidizador en ondas contiguas. Ello es aplicable asimismo a las parejas de pernos conectores en una misma onda. Deberá consultarse al fabricante o proyectista sobre esta cuestión si la posición de los pernos no está especificada de forma clara en los planos.
- En las discontinuidades de la chapa, por ejemplo correas de empalme, los pernos conectores se colocarán de forma tal que las dos chapas a ambos lados de la discontinuidad estén correctamente ancladas. Ello supone situar los pernos conectores en zigzag a lo largo de la viga. La distancia mínima del perno conector al límite de la chapa es de 20 mm (figura 3-15). A causa de ello no es recomendable utilizar vigas de ancho de ala inferior a 120mm.

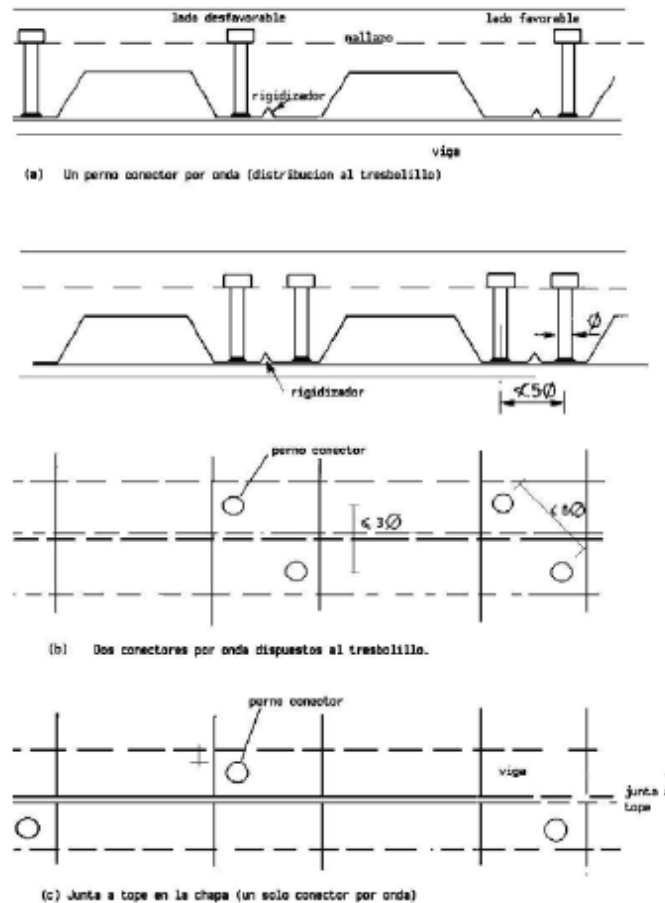


Figura 0-1: Distribución de pernos conectores

Para los conectores clavados, a grandes rasgos, las reglas generales para la disposición se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Posición del conector con relación a la viga: los conectores se pueden colocar con su plano medio paralelo al alma de la viga o perpendicularmente a la misma.
- Posición del conector con relación a la chapa perfilada: los conectores se pueden colocar, salvo condicionante particular, de forma paralela o perpendicular a la chapa perfilada. Se contempla la posibilidad de colocar hasta tres conectores por onda.

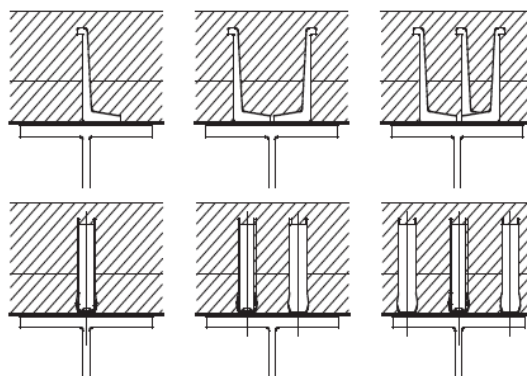


Figura 0-2: Posición relativa de los conectores

- Separación entre conectadores perpendicular a la viga: Perpendicularmente a la viga, los conectadores deben distar entre sí al menos 50mm. En el caso de chapa perfilada semicompacta o esbelta perpendicular a la viga (o en el caso en el que $h_{ap} > 51$ mm) dicha separación mínima será 100mm.
- Separación entre conectadores longitudinal a la viga: Longitudinalmente a la viga, los conectadores deben distar entre sí como mínimo 100 mm; y como máximo el menor valor entre $4 \cdot h_c$ o 600 mm, a menos que la rigidez de la cabeza del forjado sea capaz de resistir el pandeo.
- Se recomienda alternar el sentido de los clavos, tanto en posición longitudinal como sobre el alma, alternativamente de izquierda a derecha, asegurando así la simetría del conjunto.
- En ningún caso, es recomendable que los clavos disten menos de 15 mm del borde libre del ala de la viga metálica. Esta situación puede darse con frecuencia en obras de rehabilitación, (donde habitualmente se usa losa continua), en el que los anchos de las alas son pequeños.

En cuanto a los pernos, la resistencia última a esfuerzo rasante de un perno con cabeza de diámetro ≤ 22 mm soldado automáticamente con anillo normal. Un anillo normal de soldadura debe cumplir las siguientes prescripciones:

a) la soldadura debe ser regular y estar unida por fusión al vástago del perno

b) el diámetro no debe ser $< 1,25 \cdot d$

c) la altura media no debe ser $< 0,20 \cdot d$ ni la mínima $< 0,15 \cdot d$, se adopta como el menor de los siguientes valores (el primero para su resistencia a cortante y el segundo al aplastamiento del hormigón)

$$P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot (\pi \cdot d^2 / 4)}{\gamma_v}$$

$$P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_m}}{\gamma_v}$$

- d diámetro del vástago del perno, $16\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$

- f_u resistencia última a tracción del perno, pero $\leq 500\text{N mm}^2$

- f_{ck} resistencia característica del hormigón en probeta cilíndrica, de densidad no menor de 1750kg/m³.

- E_m valor medio del módulo secante del hormigón (tabla 2-2)

- α coeficiente de valor

$$0,2 \cdot [(h/d) + 1] \text{ para } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$1 \text{ para } h/d > 4$$

- h_{sc} altura total del perno

- γ_v coeficiente parcial de seguridad, se adopta 1,25 para ELU

Estas expresiones también se pueden aplicar a pernos sin cabeza, cuando se impide el despegue utilizando conjuntamente otro tipo de conectadores.

Si las chapas son continuas, como anchura del nervio b_0 se adopta la de la figura 3-23, tomando en ambos casos como el canto del nervio h_p el de la chapa sin resaltos. El factor de reducción k_l :

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0$$

Siendo h la altura total del perno, que se toma $< h_p + 75\text{mm}$.

El factor de reducción de la resistencia de los pernos con nervios transversales a las vigas se aplicará si:

- Los pernos están emplazados en nervios de placas con una altura $h_p \leq 85\text{mm}$ y con una anchura de nervio $b_0 \geq h_p$.
- Para pernos soldados a través de la chapa el diámetro de éstos será $\leq 20\text{mm}$.
- Para pernos provistos con agujeros a través de la chapa, su diámetro será $\leq 22\text{mm}$.

Tomando $f_u \leq 450 \text{ N/mm}^2$, el factor de reducción k_t :

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right)$$

n es el número de pernos situados en la intersección de un nervio con la viga (≤ 2 en los cálculos) y las demás magnitudes se han definido antes.

El factor k_t no deberá ser mayor que $k_{t,\max}$, definido en la tabla 4.8. En los casos en que no cumpla esta condición, quedan fuera del campo de aplicación y la resistencia se determina mediante ensayos.

número de pernos por nervio	espesor t de la placa (mm)	pernos menores de 20 mm de diámetro y soldados a través de la chapa	chapa con agujeros y pernos de 19 mm o 22 mm de diámetro
$n_r=1$	$\leq 1,0$	0,85	0,75
	$> 1,0$	1,00	0,75
$n_r=2$	$\leq 1,0$	0,70	0,60
	$> 1,0$	0,80	0,60

Tabla 0-1: Límites superiores $k_{t,\max}$ para la reducción del factor k_t

Si los pernos se consideran a la vez para la viga y la chapa del forjado quedando sometidos a dos esfuerzos de tipo rasante, cumplirán:

$$\frac{F_l^2}{P_{l,Rd}^2} + \frac{F_t^2}{P_{t,Rd}^2} \leq 1$$

F_l y F_t son los valores de cálculo de los rasantes debidos a las acciones exteriores en la viga y en la losa mixta, respectivamente, y $P_{l,Rd}$ y $P_{t,Rd}$, las resistencias de los pernos calculadas, para vigas con los criterios anteriores y para la losa.

ANEXO VIII: FLUJOGRAMA DE TRABAJO

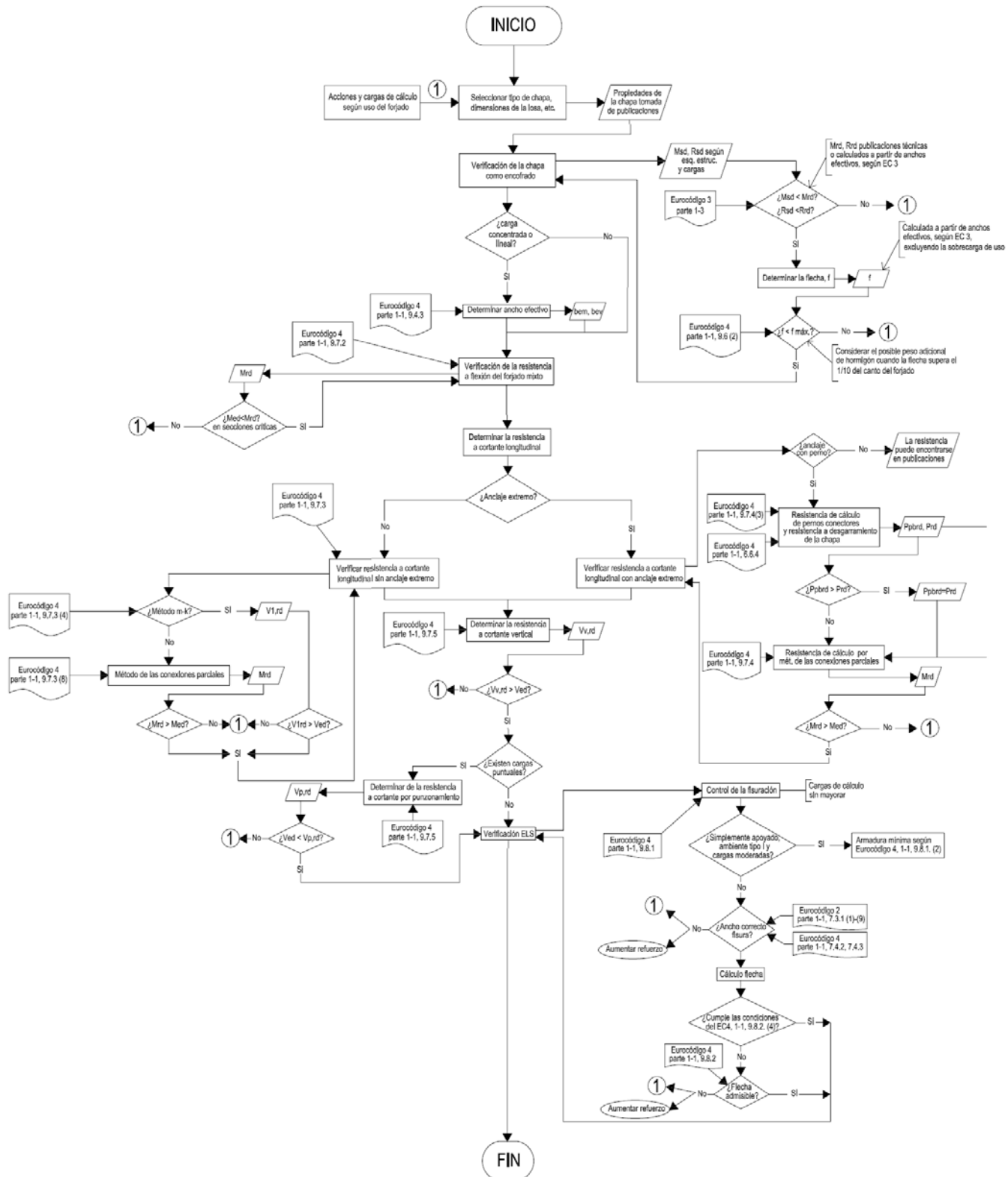


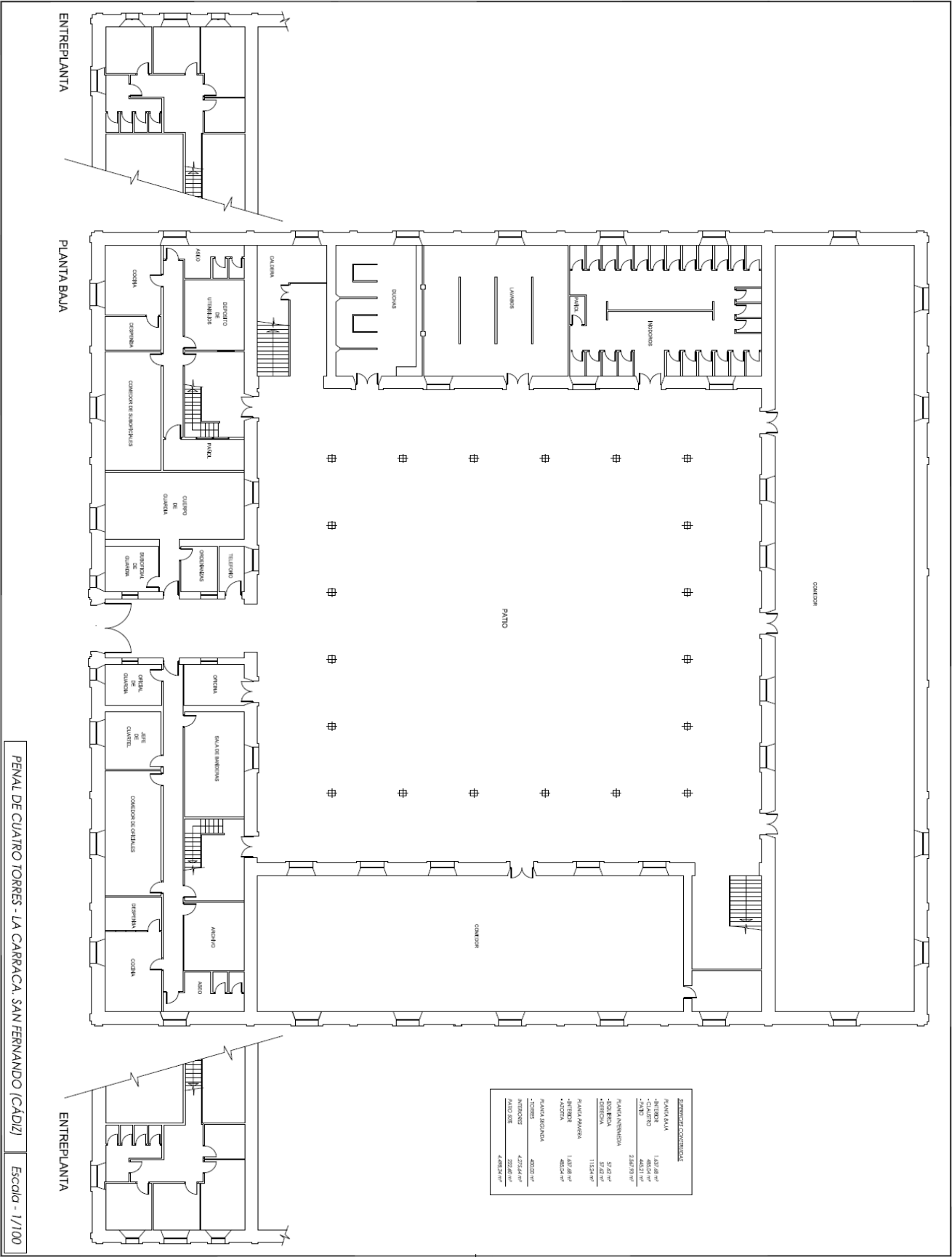
Figura 0-1 Flujoograma de trabajo para cálculo de estructuras de forjado colaborante [6]

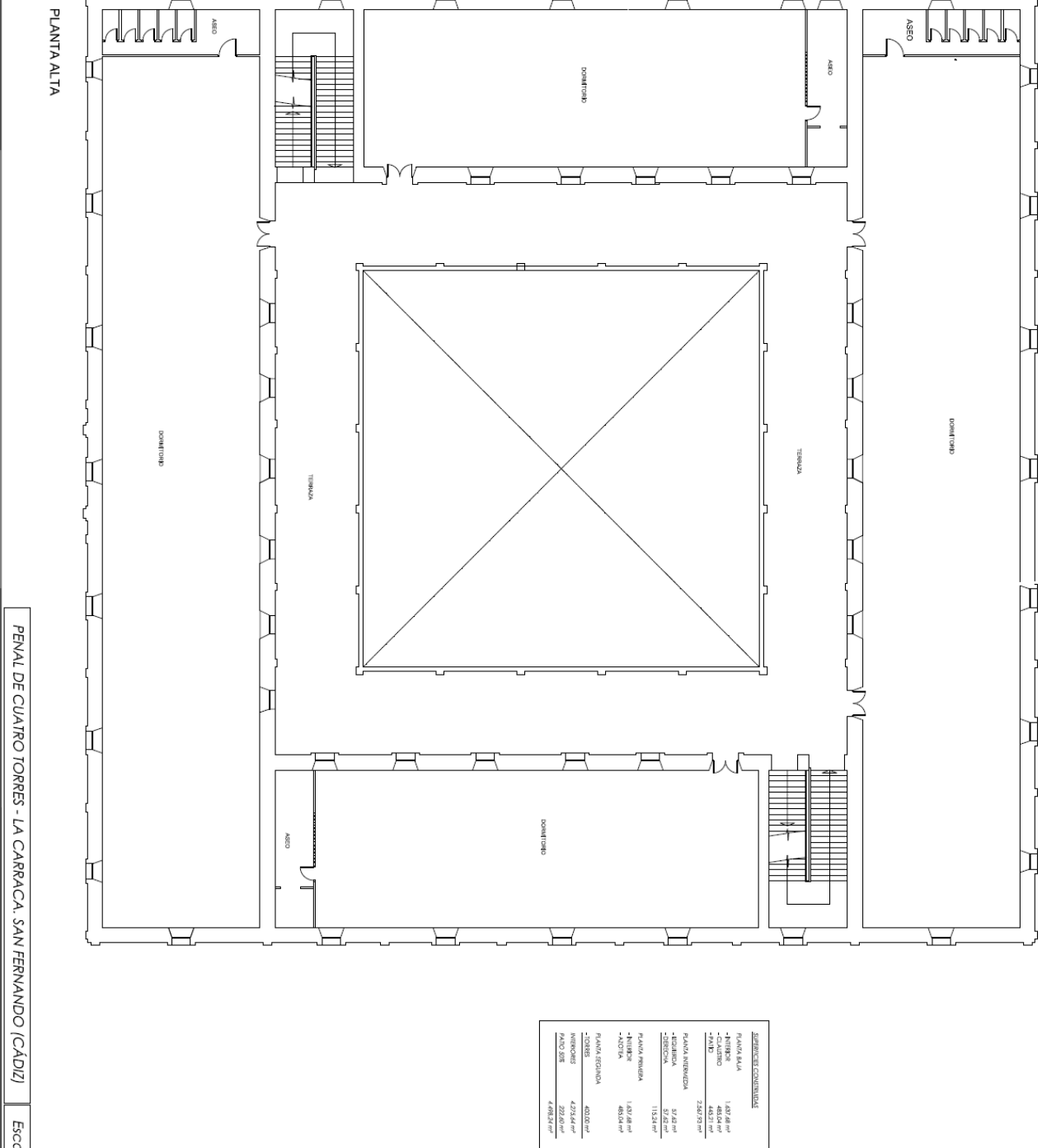
ANEXO IX: ZONAS CLIMÁTICAS. VALORES LÍMITE.

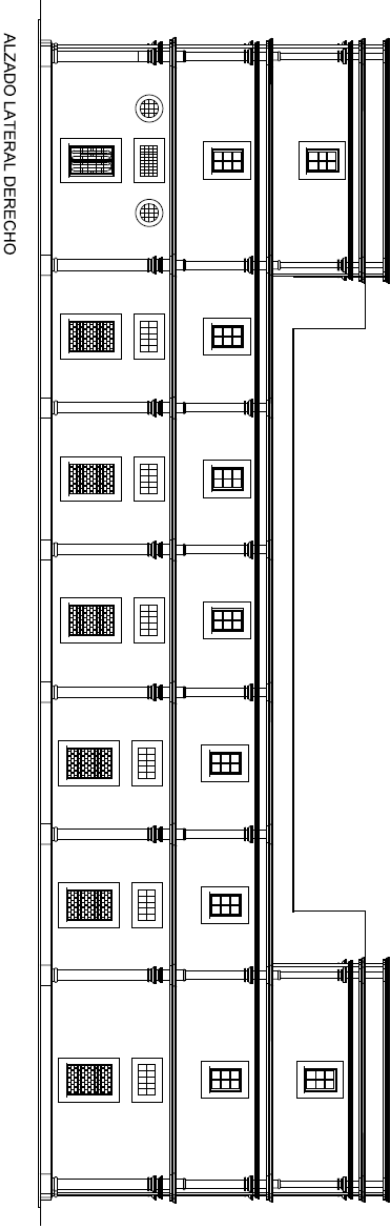
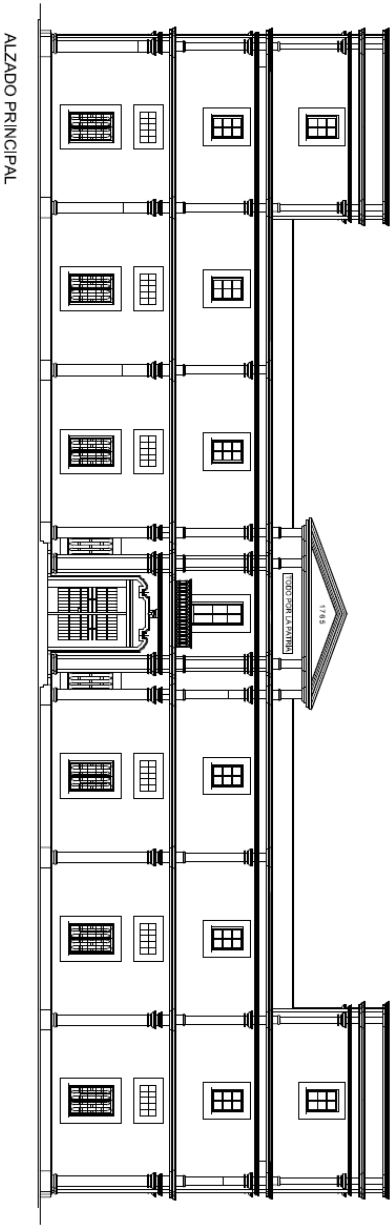
Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 0-1: valores zonas climáticas de España (tomada de [11])

ANEXO X: PLANO ANTIGUOS PENAL DE CUATRO TORRES

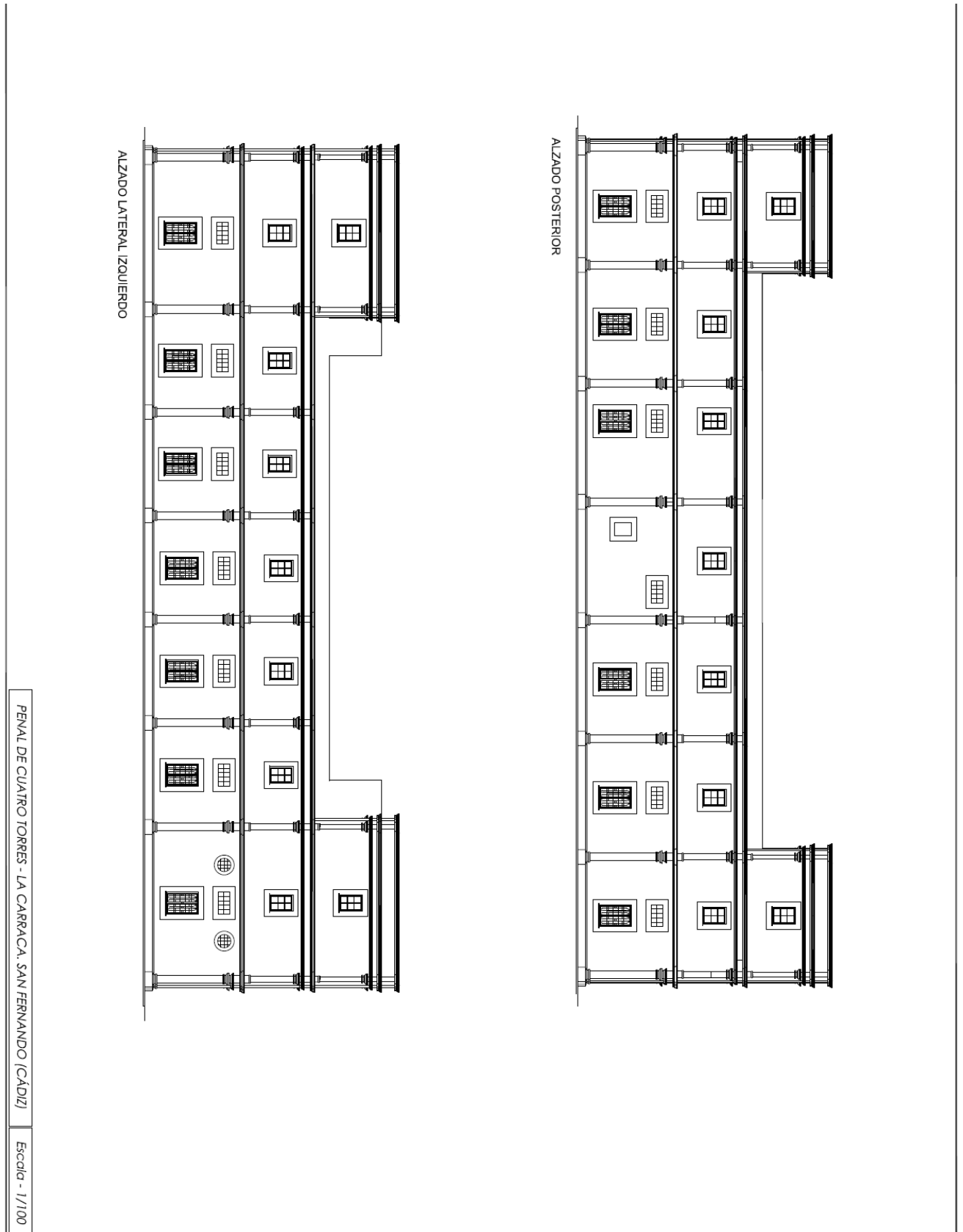






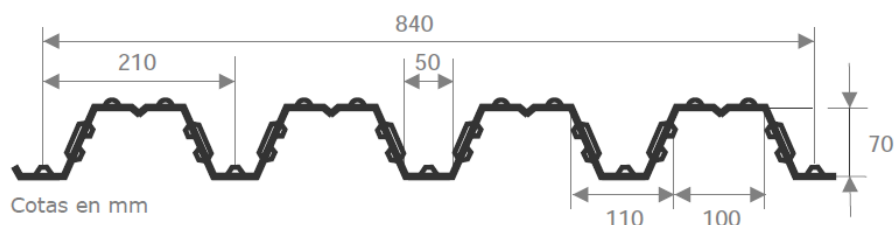
PENAL DE CUATRO TORRES - LA CARRACA, SAN FERNANDO (CÁDIZ)

Escala - 1/100



ANEXO XI: FICHA TÉCNICA DEL PERFIL PARA FORJADO INCO70.4 COLABORANTE

Dimensiones



Valores eficaces

Espesor (mm)		Peso (kg/m ²)	M. Inercia Bruto, I_0 (mm ⁴ / m)	M. Inercia Eficaz, I_{eff+} (mm ⁴ / m)	M. Inercia Eficaz, I_{eff-} (mm ⁴ / m)	M. Resistente Positivos, W_{eff+} (mm ³ / m)	Modulo Resistente Positivos, W_{eff-} (mm ³ / m)
0,75	0,75	8,71	800.578	780.682	648.009	12.627	15.672
	1,00	11,61	1.067.438	1.038.647	861.720	23.588	26.593
	1,20	13,93	1.280.925	1.316.341	1.040.382	33.280	33.400

		Volumetría del hormigón e Inercia de las Losas	
		Volumen Hormigón (m ³ / m ² de losa)	Inercia Bruta (cm ⁴ / m)
Canto del Forjado (cm)	12	0,077	6.917
	14	0,097	11.042
	16	0,117	16.313
	18	0,137	22.981
	20	0,157	31.256
	21	0,167	36.064

	Peso del Forjado (kp/m ²)					
	Canto del Forjado (cm)					
0,75	12	14	16	18	20	21
	193	241	289	337	385	449
1,00	196	244	292	340	388	452
	198	246	294	342	390	454

Densidad del Hormigón: 2400 kp/m³

Materiales

Características del Perfil:

Limite Elástico > 320 N/mm²

Limite de Rotura = (370, 480) N/mm²

Alargamiento de Rotura Min. 25%

Material Base Calidad S320GD

Mod. de Elasticidad = $2,1 \times 10^6$ daN/cm²

Protección: Galvanizados $\geq$ Z-200

Características del Hormigón:

Tipo C-25; $f_{ck} = 25$ N/mm²; $f_{ctk} = 1,8$ N/mm²
Modulo de Elasticidad = 20314,4 daN/cm²

Tamaño del Arido < máximo ((0,4 h_c), (b₀/3), (tamiz C, 31.5mm))
 h_c = Espesor de la capa de compresión del hormigón; b₀/3 = 26 mm

Características del Acero de las armaduras:

Mallazo electrosoldado y redondos de acero de alta adherencia.
Limite Elástico = 500 N/mm²

Armadura de Reparto: Malla electrosoldada de 150x150x5 mm

Armadura de negativos: Se sitúan redondos a 210mm de separación entre ellos y de diámetro según tabla. Las losas biapoyadas no necesitan negativos.

		Diámetro de los redondos					
		Canto del forjado (cm)					
2 o más Vanos	0,75	12	14	16	18	20	21
	1,00	8	10	12	14	16	16
	1,20	10	12	12	14	16	16

Unidades en mm

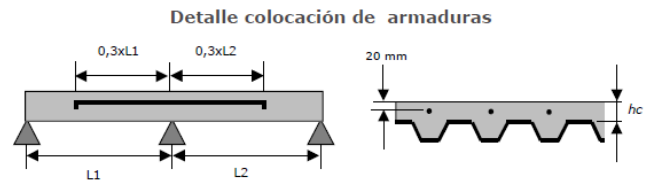


Tabla de resistencias

		Canto del Forjado (mm)					
		Luces (m)		Sobrecarga de Uso (kp/m ²)			
		12	14	16	18	20	21
ESPESOR 0,75 mm	2,0	1107	1382	1660	1939	2217	2352
	2,2	905	1129	1356	1584	1812	1921
	2,4	750	934	1123	1312	1500	1589
	2,6	628	782	939	1097	1255	1329
	2,8	530	659	792	925	1058	1120
	3,0	450	559	672	785	898	950
	3,2	384	477	573	670	766	809
	3,4	329	408	490	573	655	691
	3,6	262	349	420	491	561	592
	3,8	299	360	421	481	506	
	4,0	256	308	360	412	433	
	4,2		263	308	352	369	
	4,4			224	262	300	313
	4,6				221	253	264
	4,8					212	221
	5,0						
ESPESOR 1,00 mm	2,0	1313	1669	1990	2232	2373	2437
	2,2	1134	1415	1700	1986	2125	2180
	2,4	946	1180	1417	1655	1893	1967
	2,6	798	994	1195	1396	1596	1691
	2,8	679	846	1017	1187	1358	1438
	3,0	583	725	871	1018	1164	1232
	3,2	503	625	751	877	1003	1061
	3,4	436	541	650	760	869	919
	3,6	379	470	565	660	755	798
	3,8	331	410	492	575	658	695
	4,0	289	357	430	502	574	606
	4,2	253	312	375	439	502	528
	4,4	221	272	328	383	438	461
	4,6		237	286	334	382	401
	4,8		206	248	290	332	348
	5,0			215	252	288	301
ESPESOR 1,20 mm	2,0	1359	1727	2059	2310	2457	2523
	2,2	1191	1487	1787	2072	2201	2259
	2,4	993	1239	1489	1739	1988	2039
	2,6	837	1044	1255	1465	1676	1776
	2,8	713	888	1067	1246	1425	1510
	3,0	611	761	914	1068	1222	1293
	3,2	527	656	788	921	1053	1114
	3,4	457	568	683	798	912	965
	3,6	398	494	594	693	793	838
	3,8	347	430	517	604	691	730
	4,0	304	376	452	528	604	637
	4,2	266	328	395	461	528	556
	4,4	233	287	345	403	461	485
	4,6	204	250	301	352	403	423
	4,8		218	262	307	351	368
	5,0			228	266	305	319

REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS EN LA ARMADA:
CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES, TÉRMICAS Y ACÚSTICAS DERIVADAS
DE LA EJECUCIÓN DE FORJADOS DE CHAPA COLABORANTE

		12	14	16	18	20	21
ESPEJOR 1,20 mm	2,0	1654	2037	2412	2775	3126	3292
	2,2	1488	1832	2169	2495	2810	2958
	2,4	1314	1661	1966	2261	2546	2680
	2,6	997	1516	1794	2063	2323	2444
	2,8	764	1274	1647	1894	2132	2242
	3,0	589	994	1450	1694	1937	2054
	3,2	454	780	1214	1464	1675	1775
	3,4	350	614	968	1273	1456	1543
	3,6	262	472	759	1112	1272	1347
	3,8		353	583	886	1116	1181
	4,0		260	445	691	982	1039
	4,2			335	536	796	916
4,4			246	410	626	749	
4,6				308	487	589	
4,8				225	373	457	
5,0					278	348	

	12	14	16	18	20	21
2,0	1503	1885	2039	2279	2419	2481
2,2	1351	1694	1830	2043	2167	2221
2,4	1224	1534	1655	1847	1957	2004
2,6	1117	1399	1507	1681	1779	1821
2,8	1025	1284	1381	1539	1627	1664
3,0	945	1183	1271	1416	1495	1527
3,2	875	1095	1175	1308	1379	1408
3,4	813	1018	1090	1213	1277	1303
3,6	758	949	1015	1128	1187	1209
3,8	694	888	948	1053	1106	1126
4,0	553	788	887	985	1033	1050
4,2	440	700	832	923	967	982
4,4	349	612	751	867	907	920
4,6	275	494	671	784	852	864
4,8	214	397	600	701	802	812
5,0		316	529	629	719	759

	12	14	16	18	20	21
2,0	1555	1950	2110	2358	2504	2569
2,2	1398	1753	1894	2116	2244	2301
2,4	1267	1588	1714	1914	2028	2077
2,6	1156	1449	1562	1743	1844	1888
2,8	1061	1330	1431	1596	1687	1726
3,0	979	1226	1318	1469	1551	1586
3,2	907	1136	1219	1358	1432	1463
3,4	815	1056	1132	1260	1327	1355
3,6	647	957	1054	1173	1234	1258
3,8	507	843	985	1095	1150	1172
4,0	396	686	898	1024	1075	1094
4,2	307	545	797	931	1007	1024
4,4	236	432	699	829	945	960
4,6		339	563	739	846	894
4,8		263	450	660	755	798
5,0		200	357	568	676	713

Aislamiento acústico

AISLAMIENTO AL RUIDO AEREO (dBA) DEL FORJADO INCO 70.4 COLABORANTE						
CANTO	MASA UNITARIA	Sin acabado	Baldosa o terrazo sobre mortero	Moqueta o lámina sobre mortero	Parquet sobre mortero	Tarima sobre rastreles
		-	120 kg/m ²	80 kg/m ²	90 kg/m ²	50 kg/m ²
H (mm.)	kg/m ²	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA
110	172	40	48	46	47	44
120	196	42	50	48	48	46
130	220	44	51	49	49	47
140	244	46	52	50	51	49
150	268	47	53	51	52	50
160	292	48	54	52	53	51
170	316	50	55	53	54	52
180	340	51	56	54	55	53
190	364	52	56	55	55	54
200	388	53	57	56	56	55
210	412	54	58	57	57	56

NIVEL MAXIMO AL NIVEL DE RUIDO DE IMPACTO (Ln)						
CANTO	MASA UNITARIA	Sin acabado	Baldosa o terrazo sobre mortero	Moqueta o lámina sobre mortero	Parquet sobre mortero	Tarima sobre rastreles
		-	120 kg/m ²	80 kg/m ²	90 kg/m ²	50 kg/m ²
H (mm.)	kg/m ²	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA
110	172	95	87	89	88	91
120	196	93	85	87	87	89
130	220	91	84	86	86	88
140	244	89	83	85	84	86
150	268	88	82	84	83	85
160	292	87	81	83	82	84
170	316	85	80	82	81	83
180	340	84	79	81	80	82
190	364	83	79	80	80	81
200	388	82	78	79	79	80
210	412	81	77	78	78	79

Solución constructiva	Mejora de aislamiento a ruido de impacto
Pavimentos	
Plástico (PVC, amianto vinilo)	2
Flotante de hormigón sobre fieltro	6
Plástico sobre corcho	7
Plástico sobre fieltro	8
Parquet de corcho	10
Plástico sobre espuma	11
Flotante de hormigón sobre fibra mineral	15
Flotante de hormigón sobre planchas elasticadas de poliestireno expandido	18
Moqueta	16

ANEXO XII: PLANOS PROYECTO RESIDENCIA DE CUATRO TORRES



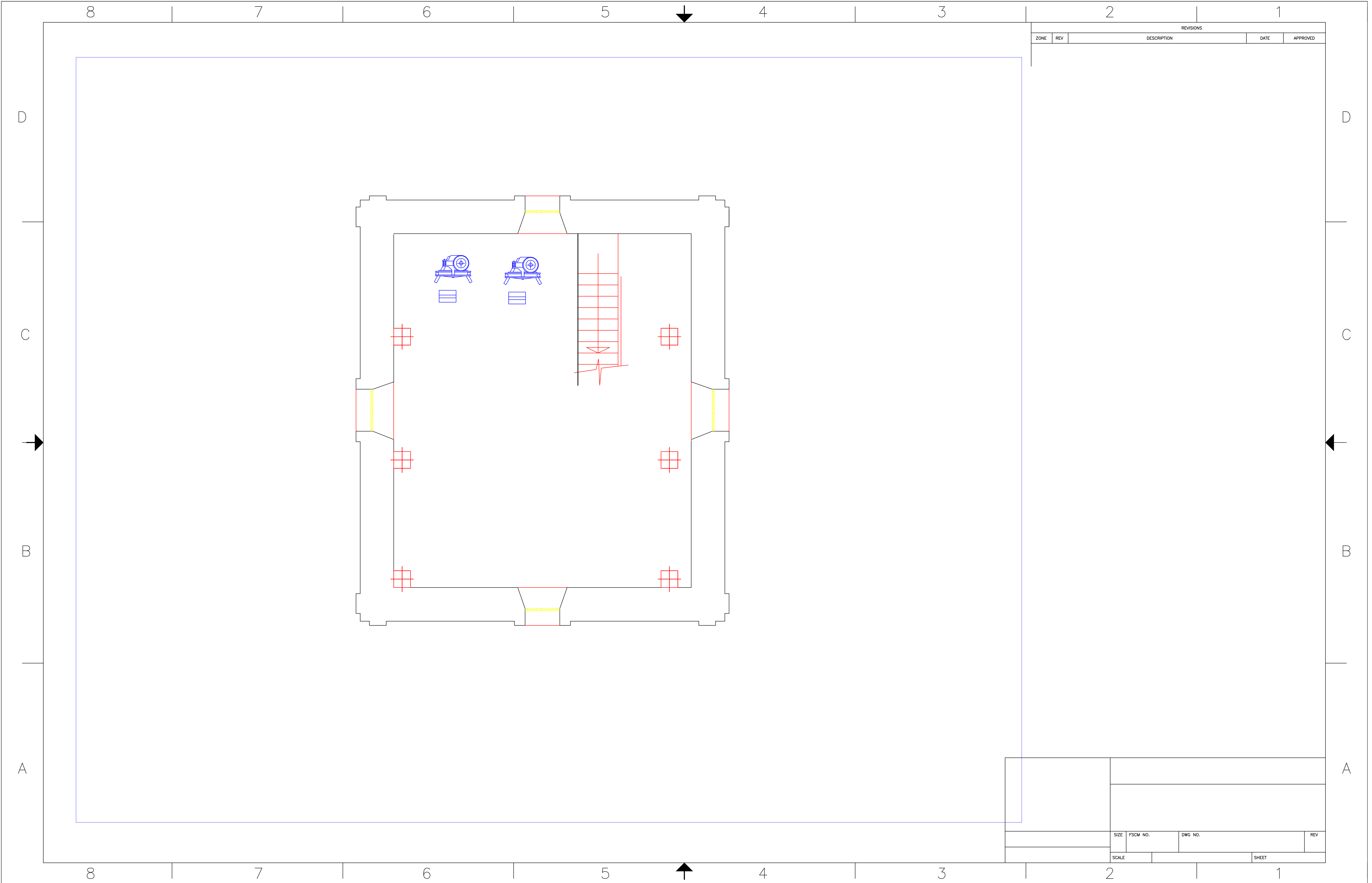
REVISIONS				
ZONE	REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

		SIZE	FSOM NO.	DWG NO.
		SCALE		SHEET



REVISIONS				
ZONE	REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

		SIZE	FSOM NO.	DWG NO.
		SCALE		
				SHEET



ANEXO XIII: VARIACIONES DEL FORJADO COLABORANTE

Diferenciamos otras tipologías de forjado mixto atendiéndonos a la disposición y el tipo de vigas que conforman el entramado sobre el que se apoya la chapa y el hormigón. La utilización de uno u otro tipo dependerá de las necesidades del proyecto. Éstas se describen a continuación:

Slimfloor (forjado con vigas integradas). Esta solución integra las vigas de acero dentro del espesor ocupado por las chapas grecadas y de hormigón. En este caso, el ahorro de la altura por planta es considerable.

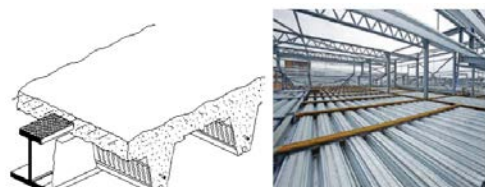


Figura 0-1: Slimfloor

Parallel Beam Approach. Las vigas primarias trabajan como vigas metálicas convencionales, conectadas por ménsulas a las columnas. Se suelen disponer dos en paralelo rigidizándolas transversalmente en las zonas donde entregan las vigas secundarias y en la zona entre columnas, mejorando su comportamiento frente pandeo lateral. Las columnas se disponen con su eje fuerte paralelo a las vigas principales.

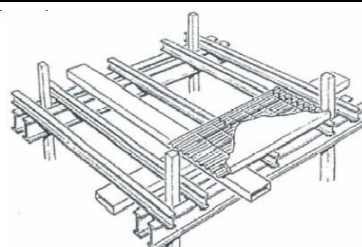


Figura 0-2: Parallel Beam Approach

Celosías mixtas. Cuando es necesario cubrir grandes luces, las soluciones convencionales mixtas suelen dar espesores muy grandes. Las soluciones con celosías mixtas van acompañadas de la necesidad de pasar gran cantidad de servicios que hacen que el canto resultante sea aún mayor. Las luces habituales van de los 12 a los 20 metros.

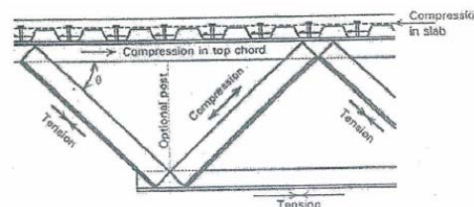


Figura 0-3: Celosías mixtas

Stub Girders. Son apropiados para luces grandes. En este tipo, al aplicarse una carga se desarrolla una compresión en la losa de hormigón o mixta y una tracción en el cordón inferior, aprovechando de una manera óptima, las características resistentes de cada uno de estos materiales. Esto es posible gracias a que se disponen unos perfiles metálicos cortos, stubs, unidos inferiormente a las vigas por soldadura o tornillos y superiormente mediante pernos.

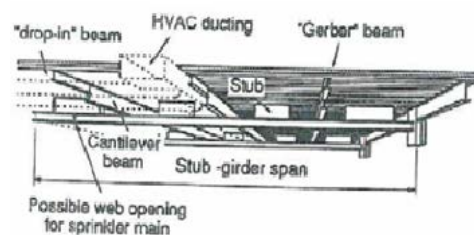


Figura 0-4: Stub Girders

Vigas alveoladas. Este tipo de solución se basa en la utilización de vigas alveolares con huecos circulares en el alma. El esquema estructural utilizado es el de viga continua. El rango de luces va de los 12 a los 18 m.

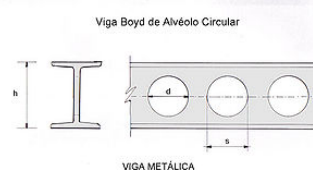
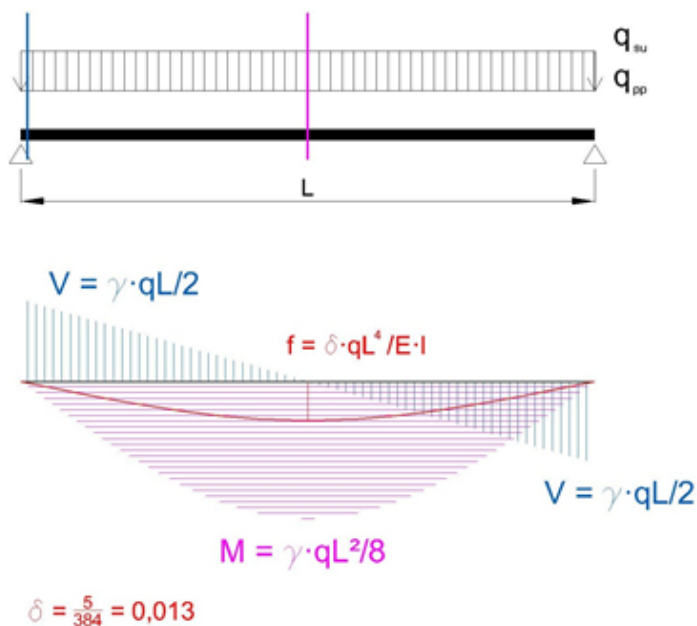


Figura 0-5: Vigas alveoladas

ANEXO XIV: EJEMPLO DE CÁLCULO DE VIGAS

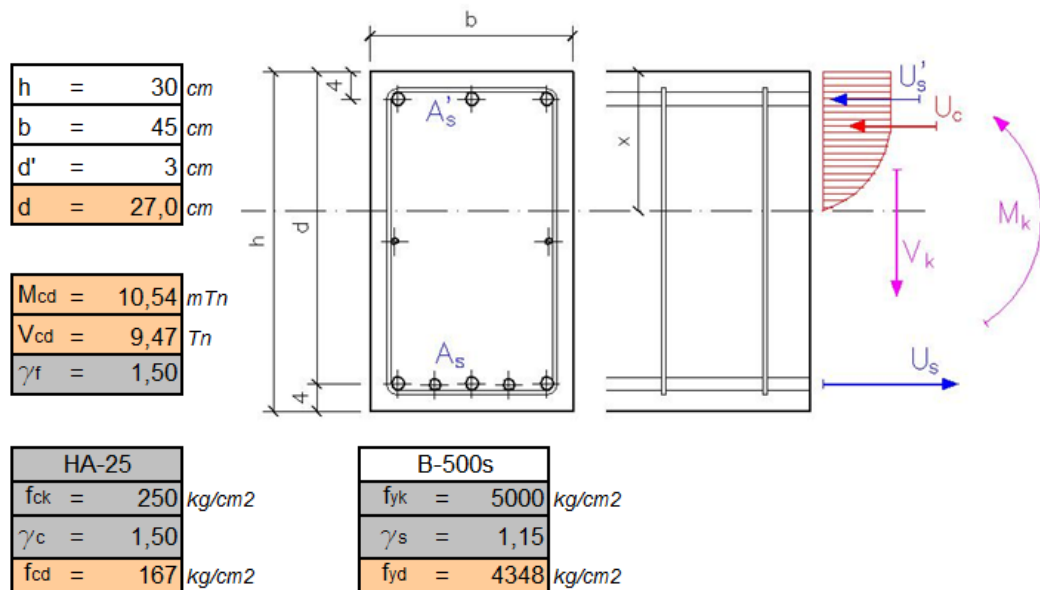
Cargas y Longitud en Vigas	
En esta sección hay que introducir el peso debido a la sobrecarga de uso y las debidas a peso propio, como pp del forjado, pavimentos y tabiquería. En el caso de vigas inclinadas en cubierta, puede existir una componente axial.	
Q =	25,00 KN/ml
Q t =	28,38 KN/ml, sumando el pp de la viga
γ =	1,50 Coef. Mayoración cargas
L =	4,45 m, longitud de cálculo de la viga

TIPO 1 - Viga biapoyada



M d1 =	105,36 m·KN	V d1 =	94,70 KN
--------	-------------	--------	----------

ENTRADA DE DATOS



PREDIMENSIONADO

El hormigón se emplea al límite de su capacidad cuando el momento reducido $\mu = 0.252$, valores adecuados de la sección oscilarán entre el 80% y el 120% de este valor

$$\mu = 0,193 \quad 76\%$$

Sección infrautilizada, sería conveniente disminuir la esquadría

$$\mu = \frac{M_{cd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

ARMADURA LONGITUDINAL TRACCIONADA A_s

El programa calcula el área de acero A_s necesaria y nosotros debemos traducirlo a un número determinado de $\emptyset$, comprobando que se cumplen las cuantías mínimas

$$\omega = 0,231$$

$$A_s = 10,8 \text{ cm}^2$$

$$\omega = 1.20 \cdot \mu$$

$$A_s = \omega \cdot \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

6,8 cm ²	6 x Ø12
+ 5,7 cm ²	5 x Ø12
12,4 cm²	115% Armadura correcta

El armado cabe en una única fila

Cumple A_s min geom.

Cumple A_s min mecan.

ARMADURA LONGITUDINAL COMPRIMIDA A'_s

El hormigón trabaja al máximo de su capacidad con el momento reducido $\mu = 0.252$. Si $\omega' > 0$ necesitamos armadura trabajando a compresión; en caso contrario: armado mínimo de montaje; 2Ø10

$$\omega' = 0,00$$

$$A'_s = 0,0 \text{ cm}^2$$

$$\omega' = 1.06 \cdot \mu - 0.267$$

$$2,3 \text{ cm}^2$$

$$3 \times \emptyset 10$$

Hay que disponer armadura mínima

ESFUERZO CORTANTE - ARMADURA TRANSVERSAL

Si $V_d > V_{u1}$ la rotura por esfuerzo cortante se produce por compresión en el hormigón y la armadura no es efectiva; en este caso la única solución es aumentar la escuadría de la sección

$$V_d = 9,5 \text{ Tn} < V_{u1} = 91,1 \text{ Tn} \quad V_{u1} = 0.30 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$$

Escuadría correcta

Si se cumple la condición anterior; hay que calcular la resistencia virtual a cortante del hormigón (f_{cv}) y el esfuerzo cortante máximo que aguanta la sección de hormigón sin armado (V_{cu}). Si $V_{cu} > V_d$ se puede disponer armadura de cortante mínima ($e\phi 6c/30$).

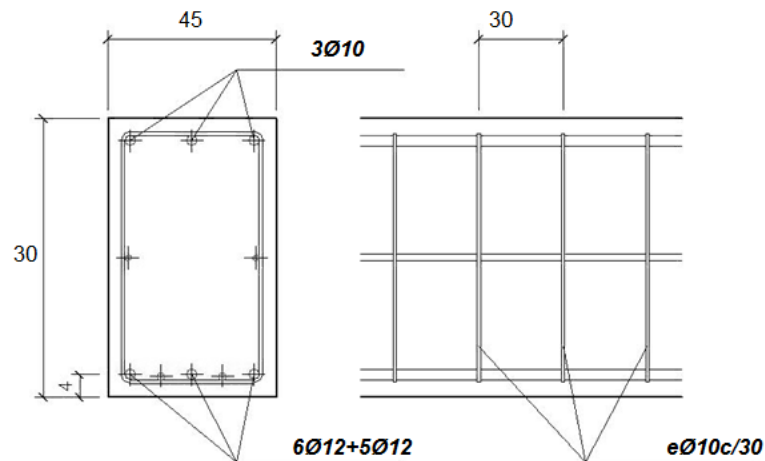
$$f_{cv} = 6,58 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_d = 9,5 \text{ Tn} > V_{cu} = 7,99 \text{ Tn} \quad V_{cu} = b \cdot d \cdot f_{cv}$$

Si $V_d > V_{cu}$ el hormigón no puede soportar el esfuerzo por si solo y hay que disponer armadura para absorber el exceso de cortante que denominamos V_{su}

$$V_{su} = 2,81 \text{ Tn} \quad e \phi 10 \text{ c/30} \quad V_{su} = \frac{0.9 \cdot d \cdot A_t \cdot f_{yd}}{s_t}$$

SOLUCIÓN



COMPROBACIÓN SIMPLIFICADA DE LA FLECHA

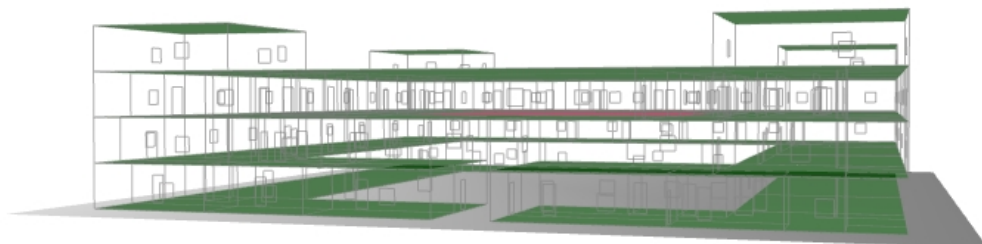
El cálculo de la flecha en vigas de hormigón es relativamente complicado y excede los objetivos de esta aplicación. Para comprobar la deformación vamos a utilizar el método simplificado indicado por la norma EHE en su art 50.2.2

Según este apartado no es necesario comprobar la flecha en aquellas vigas cuya relación Luz/Canto útil (L/d) no exceda unos valores que dependen del tipo de viga y la cantidad de armado de su sección

Tipo de viga	Cuantía armadura activa	Máximo L/d según CTE	Relación L/d
VIGA 1 - Biapoyada	$\rho = 0,92\%$	20	16,5
	Cuantía baja		

Sección Correcta, no es necesaria la comprobación estricta de la flecha en este elemento

ANEXO XV: INFORME DE MEDICIONES ACÚSTICAS EN SONARCHITECT



Proyecto Acústico según Documento Básico DB HR Protección frente al ruido

REHABILITACIÓN PENAL DE CUATRO TORRES

Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez
Organización	GOC
Referencia	Penal
Fecha	04/03/2016

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez		Hoja	2

RECINTOS POR TIPOLOGIA			
Tipología	Totales	CUMPLEN	NO CUMPLE
Espacios de uso común	12	11	1
Escaleras	9	9	0
Recintos de actividad o instalaciones	6	6	0
Ascensores	6	6	0
Recintos habitables	15	15	0
Dormitorios	34	34	0
Estancias en edificio residencial o sanitario	1	1	0
Estancias en edificio cultural, docente, administrativo o religi	16	16	0
Aulas en edificio cultural, docente, administrativo o religioso	2	2	0
Restaurantes y comedores	3	3	0
TOTAL	104	103	1

TIPOS DE EXIGENCIAS EN AISLAMIENTO			
Tipología	Totales	CUMPLEN	NO CUMPLE
Habitables con huecos en el separador	0	0	0
Habitables	90	90	0
Misma unidad de uso	347	347	0
Protegidos con huecos en el separador	0	0	0
Protegidos	263	263	0
Protegidos frente a instalaciones	78	78	0
Ruido Exterior	92	92	0
Habitables frente a instalaciones con huecos	0	0	0
Habitables frente a instalaciones (impacto)	3	3	0
Habitables o protegidos frente a ascensores	0	0	0
TOTAL	873	873	0

TIPOS DE EXIGENCIAS EN REVERBERACION			
Tipología	Totales	CUMPLEN	NO CUMPLE
Espacios de uso común	12	11	1
Aulas y salas de conferencias	2	2	0
Restaurantes y comedores	3	3	0
TOTAL	17	16	1

Declaración de No Cumplimiento

El edificio presenta un total de 104 recintos, de los que 104 están sujetos al cumplimiento de los requisitos de aislamiento acústico incluidos en el apartado 2.1 del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (DB-HR). De ellos 103 recintos cumplen los requisitos de aislamiento calculados según el método general expuesto en el apartado 3.1.3 del DB-HR y 1 no los cumplen.

Por otro lado, el edificio presenta 17 recintos que están sujetos al cumplimiento de los requisitos de reverberación incluidos en el apartado 2.2 del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (DB-HR). De ellos 16 recintos cumplen los requisitos de reverberación calculados según el método general expuesto en el apartado 3.2.2 del DB-HR y 1 no los cumplen.

Dado que existen recintos susceptibles de cumplir las exigencias del DB HR que no las cumplen se colije que, el proyecto de aislamiento acústico con nombre

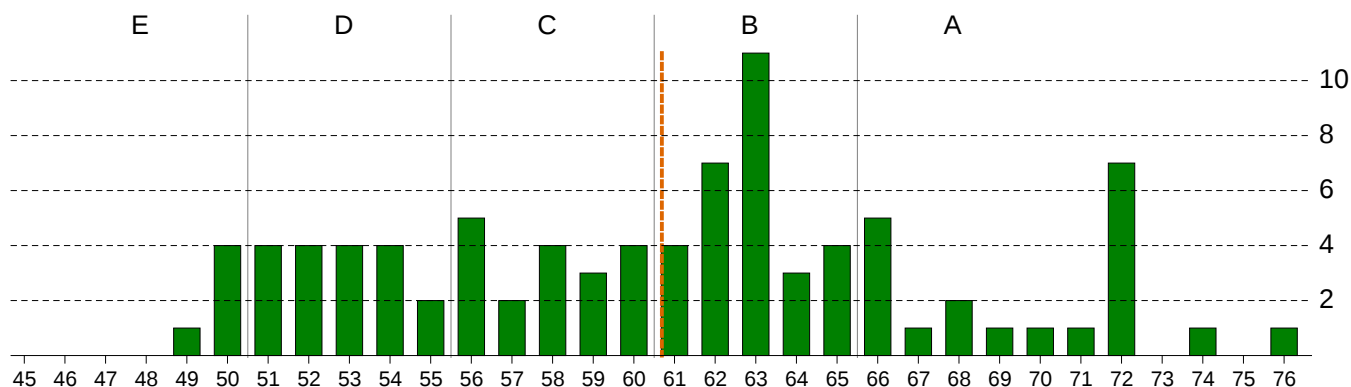
REHABILITACIÓN PENAL DE CUATRO TORRES

NO CUMPLE los requisitos del DB HR.

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez		Hoja	3

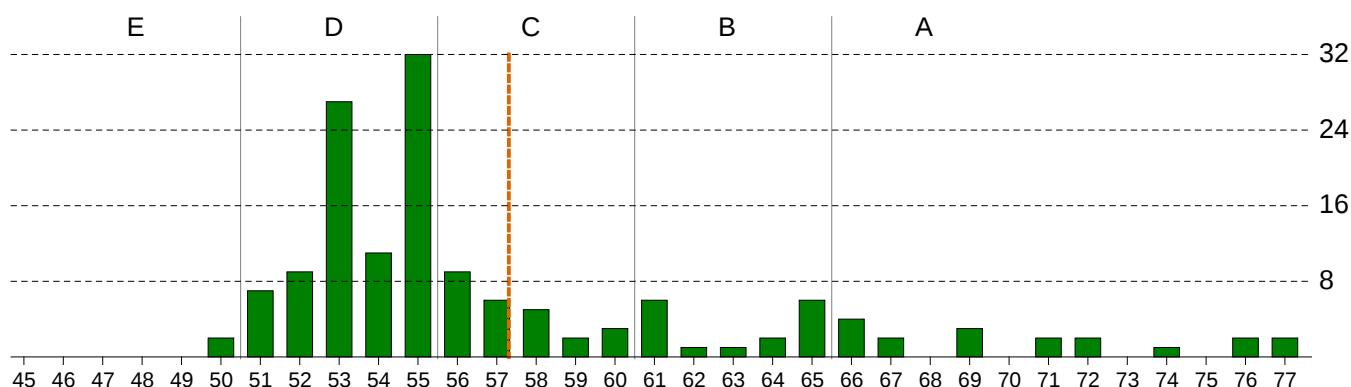
Aislamiento a ruido aéreo en recintos habitables (DnT,A)

Totales	E	D	C	B	A	Media (dBA)	Clasificación
90	5	18	18	29	20	60,69	Clase B



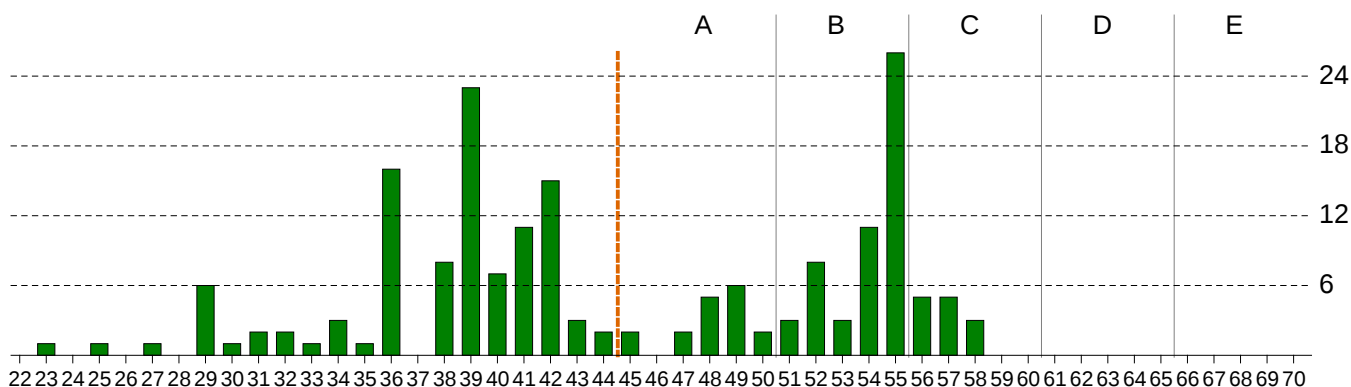
Aislamiento a ruido aéreo en recintos protegidos (DnT,A)

Totales	E	D	C	B	A	Media (dBA)	Clasificación
147	2	86	25	16	18	57,31	Clase C



Aislamiento a ruido de impactos en recintos protegidos (Ln,w)

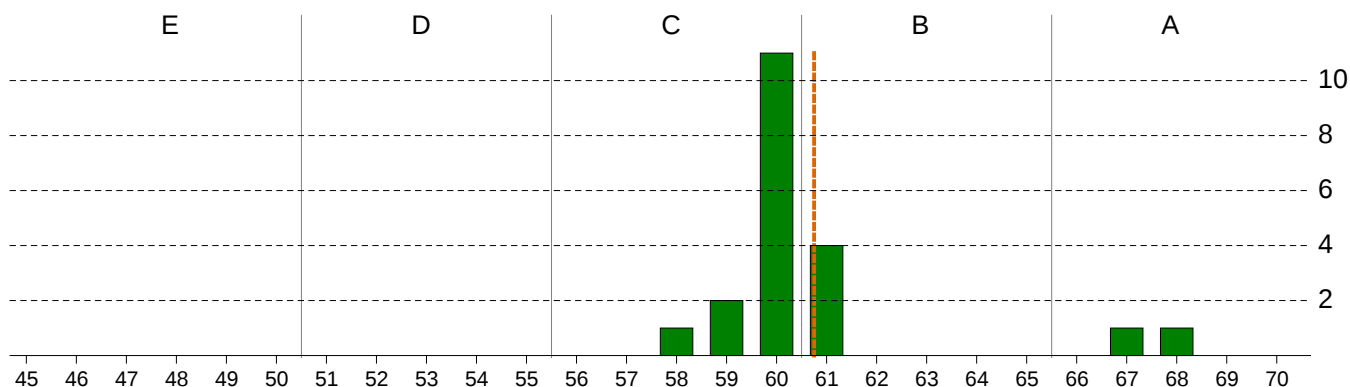
Totales	E	D	C	B	A	Media (dB)	Clasificación
185	0	0	13	51	121	44,54	Clase A



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez		Hoja	4

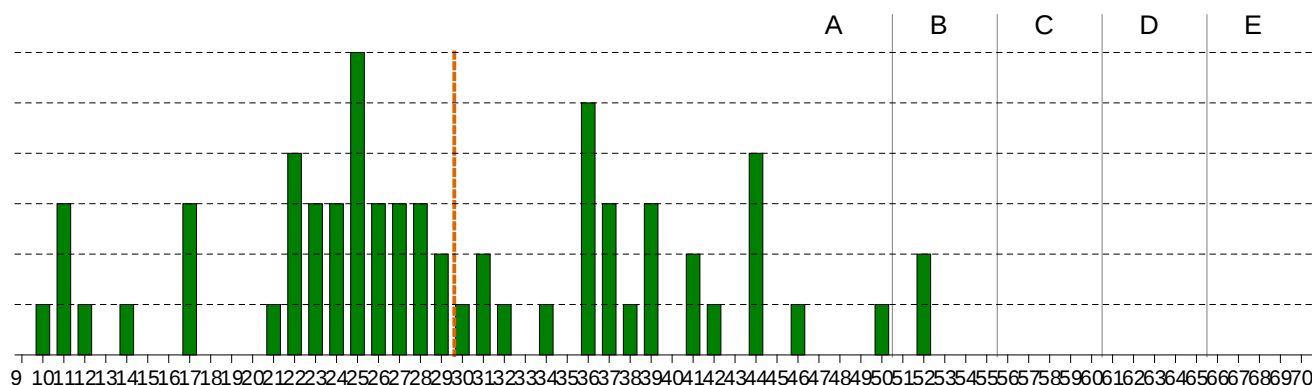
Aislamiento a ruido aéreo en recintos protegidos frente a instalaciones (DnT,A)

Totales	E	D	C	B	A	Media (dBA)	Clasificación
20	0	0	14	4	2	60,75	Clase B



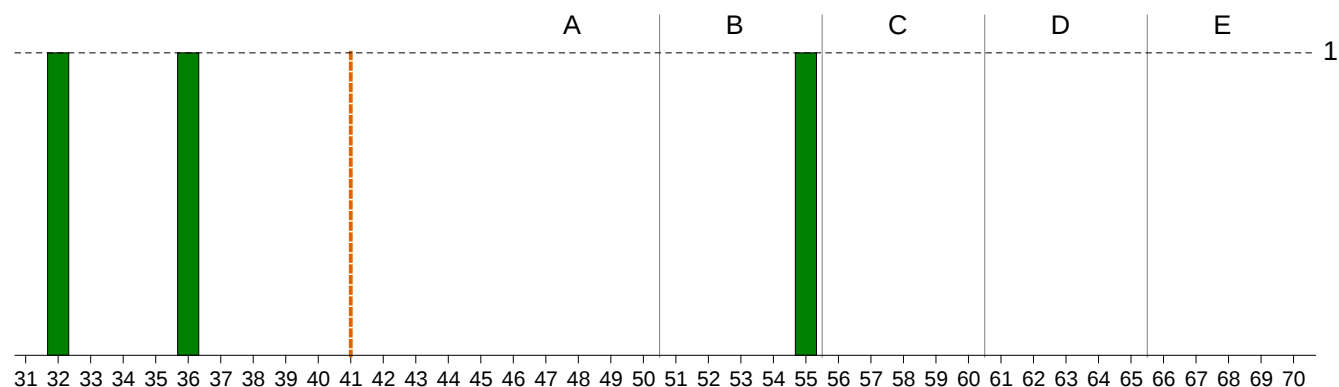
Aislamiento a ruido de impactos en recintos protegidos frente a instalaciones (Ln,w)

Totales	E	D	C	B	A	Media (dB)	Clasificación
65	0	0	0	2	63	29,62	Clase A



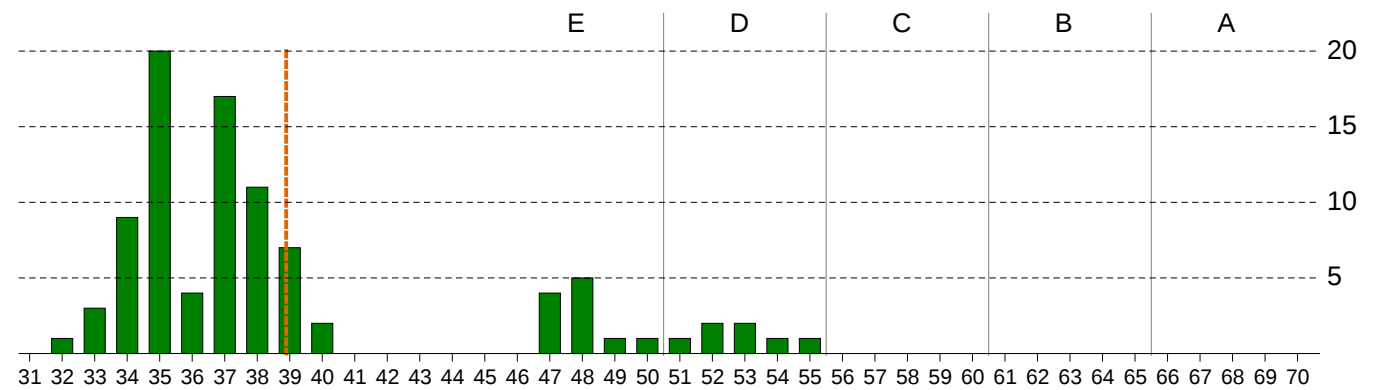
Aislamiento a ruido de impactos en recintos habitables frente a instalaciones (Ln,w)

Totales	E	D	C	B	A	Media (dB)	Clasificación
3	0	0	0	1	2	41,00	Clase A

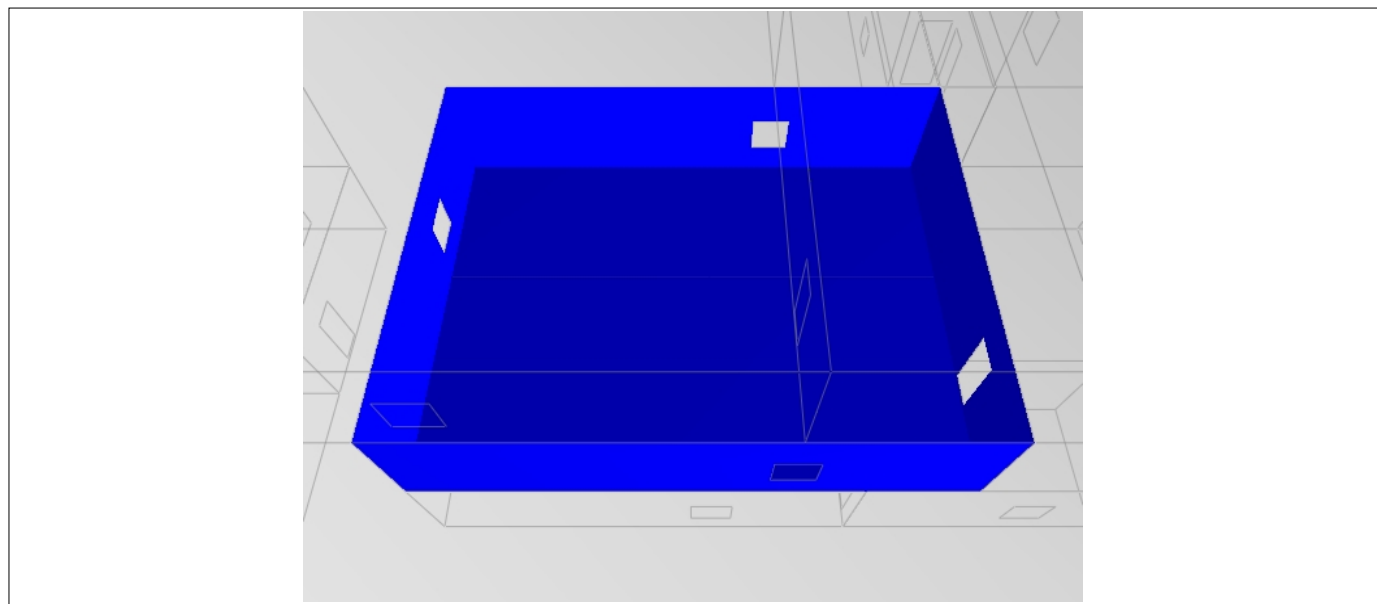


Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez		Hoja	5

Aislamiento a ruido exterior en recintos protegidos (D2m,nT,Atr)							
Totales	E	D	C	B	A	Media (dB Atr)	Clasificación
92	85	7	0	0	0	38,89	Clase E



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	1 de 15	Hoja 6



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Aula cult/doc/admin/relig		1º	385,14

Soluciones Constructivas

D1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F3	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F4	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	12,20	0,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F1	32,75	3,05	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F2	39,30	3,05	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F3	28,00	4,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F4	12,20	4,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Habitable		Bajo	36,60

Soluciones Constructivas

d1	INCO70.4 H140
f1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	12,20	0,00	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
f1	9,15	3,05	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f2	9,15	3,05	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	12,00	4,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f4	12,00	4,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

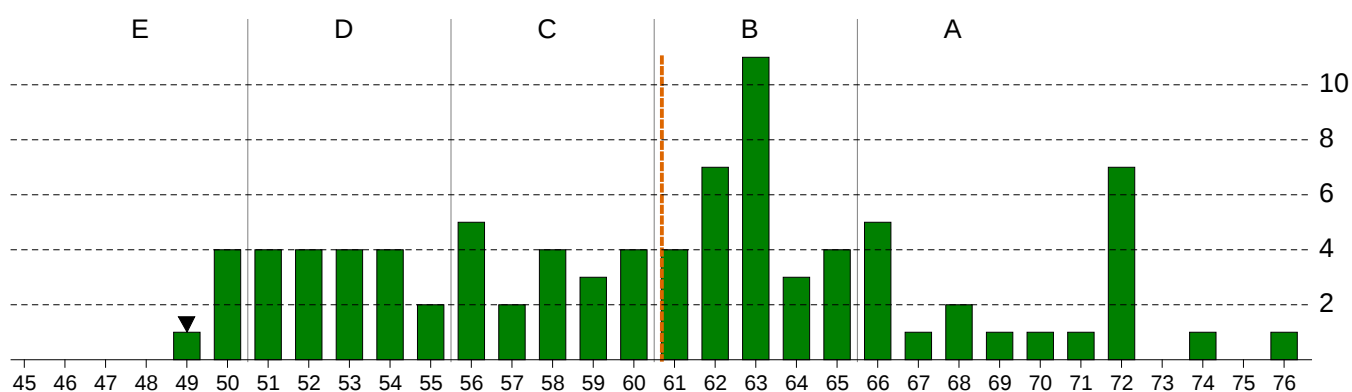
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	1 de 15	Hoja 7

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR

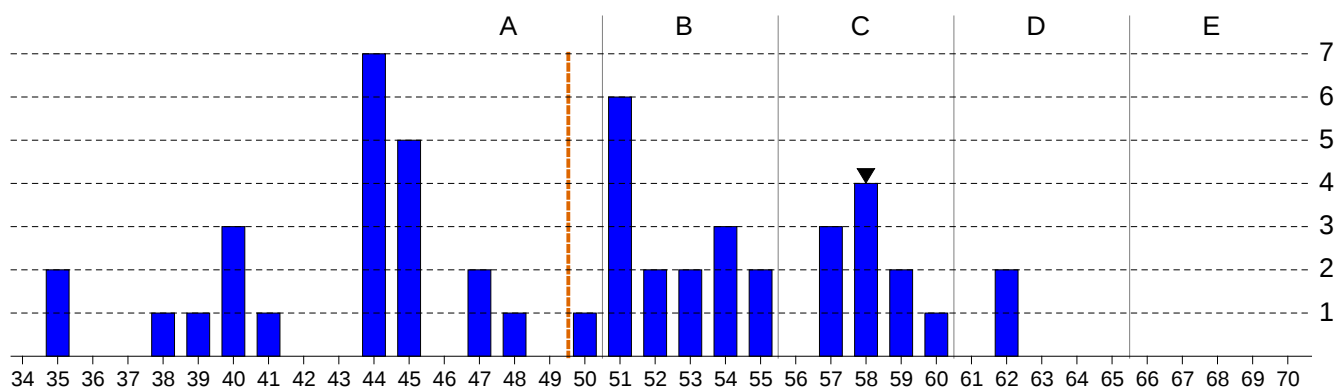
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{nT,A}$ [dBA]	49	45	CUMPLE
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	$L'_{nT,w}$ [dB]	58	-	-

HISTOGRAMAS

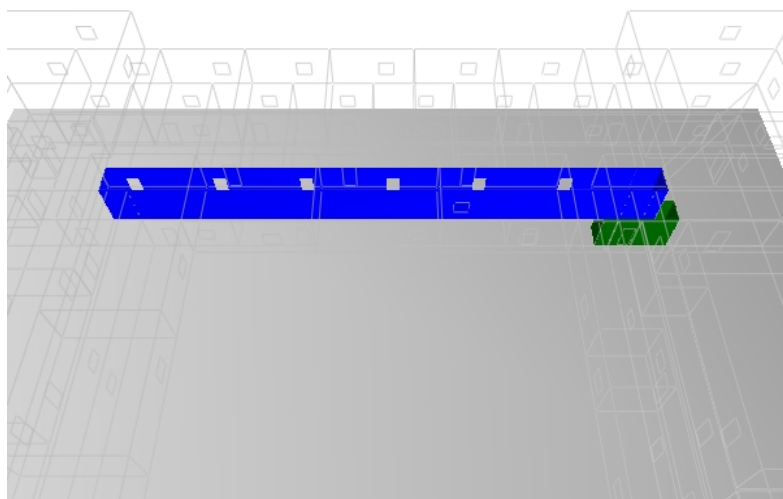
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{nT,A}$ [dBA]



Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w}$ [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	2 de 15	Hoja 8



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Uso Común		1º	181,65

Soluciones Constructivas

D1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F4	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F5	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	4,72	0,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F1	2,32	0,77	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F2	91,80	0,90	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F3	4,43	1,48	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F4	11,29	1,50	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F5	5,25	1,50	51,80	54,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Habitable		Bajo	21,60

Soluciones Constructivas

d1	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m ²)
f1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f2	RI15+LHD115+RI15(min)
f3	INCO70.4 H140
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f5	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

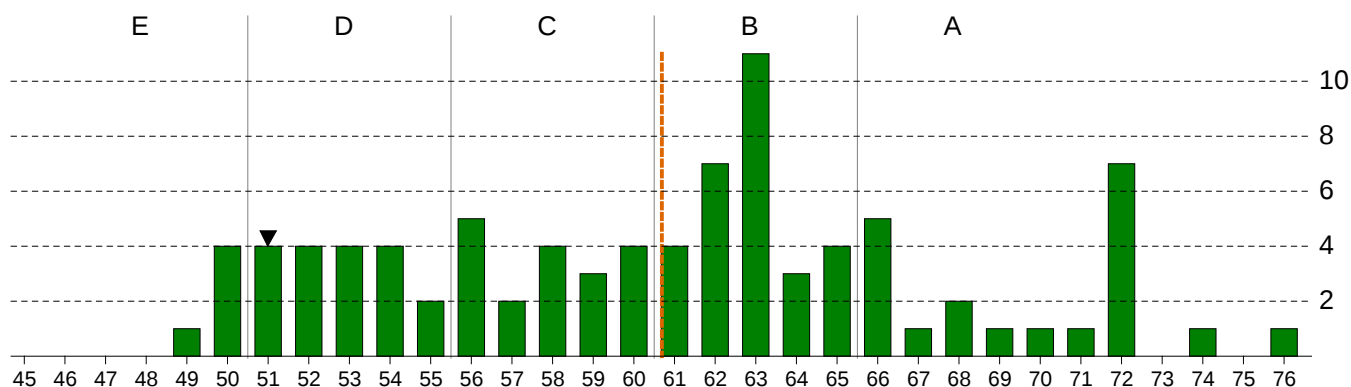
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	4,72	0,00	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00
f1	11,70	0,77	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f2	2,70	0,90	127,00	40,00	-	0,00	0,00

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	2 de 15	Hoja 9

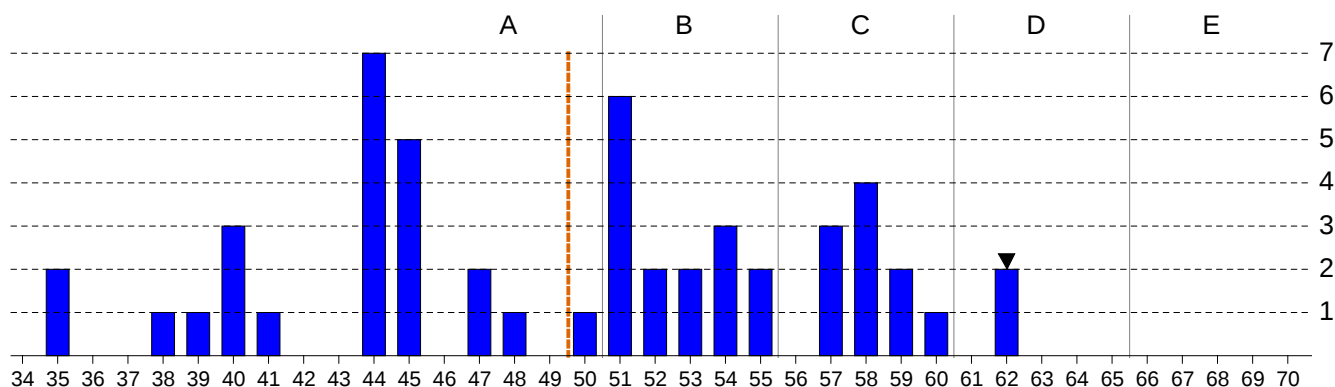
Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
f3	2,48	1,50	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
f4	4,50	1,50	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f5	14,40	3,15	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo		D _{nT,A} [dBA]	51	45
Nivel de Presión de Ruido de Impactos		L' _{nT,w} [dB]	62	-

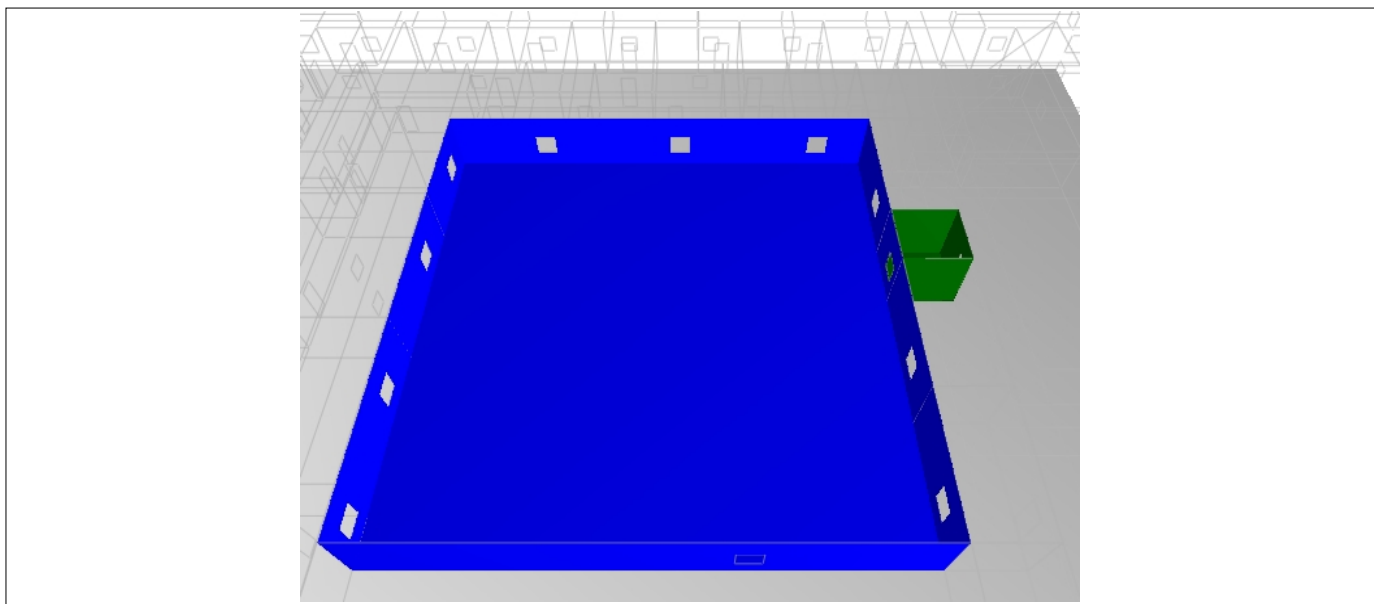
HISTOGRAMAS
Aislamiento a Ruido Aéreo D _{nT,A} [dBA]



Nivel de Presión de Ruido de Impactos L' _{nT,w} [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	3 de 15	Hoja 10



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Uso Común		2º	1364,30

Soluciones Constructivas

D1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F1	INCO70.4 H140
F2	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
F3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{R,A} [dBA]	D _{L,w} [dB]
D1	8,75	0,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F1	454,75	2,92	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
F2	454,75	2,92	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
F3	18,94	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F4	18,70	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Habitable		2º	26,80

Soluciones Constructivas

d1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
f2	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{R,A} [dBA]	D _{L,w} [dB]
d1	8,75	0,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f1	8,93	2,92	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
f2	8,93	2,92	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
f3	9,21	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f4	9,17	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impacto

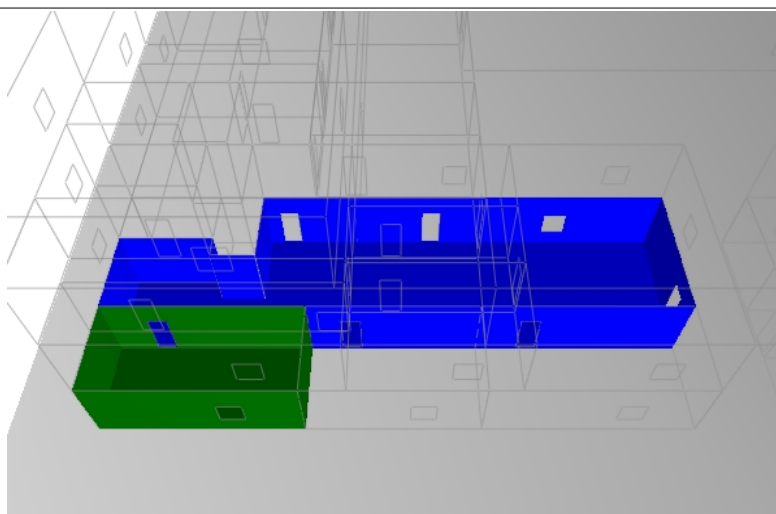
SONarchitectProfesional

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	3 de 15	Hoja 11

Ventanas, Puertas y Capialzados				
Descriptor	S [m ²]	R _A [dBA]	C _{tr} [dB]	D _{RA} [dBA]
Sen_DES4	2,00	26,00	-1,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	D _{nT,A} [dBA]	32	-	-
El recinto CUMPLE los requisitos del DB-HR ya que el índice global de reducción acústica del tabique RA=54,00 dBA entre dos recintos de una misma unidad de uso no es menor de 33 dBA.				

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	4 de 15	Hoja 12



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Uso Común		Bajo	379,26

Soluciones Constructivas

D1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F3	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F4	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m ²)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	DL _w [dB]
D1	24,68	0,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F1	10,80	3,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F2	21,00	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F3	126,42	8,23	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F4	44,07	8,23	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		Bajo	93,77

Soluciones Constructivas

d1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
f4	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m ²)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	DL _w [dB]
d1	24,68	0,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f1	11,40	3,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f2	11,40	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	31,26	8,23	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
f4	9,87	8,23	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impacto

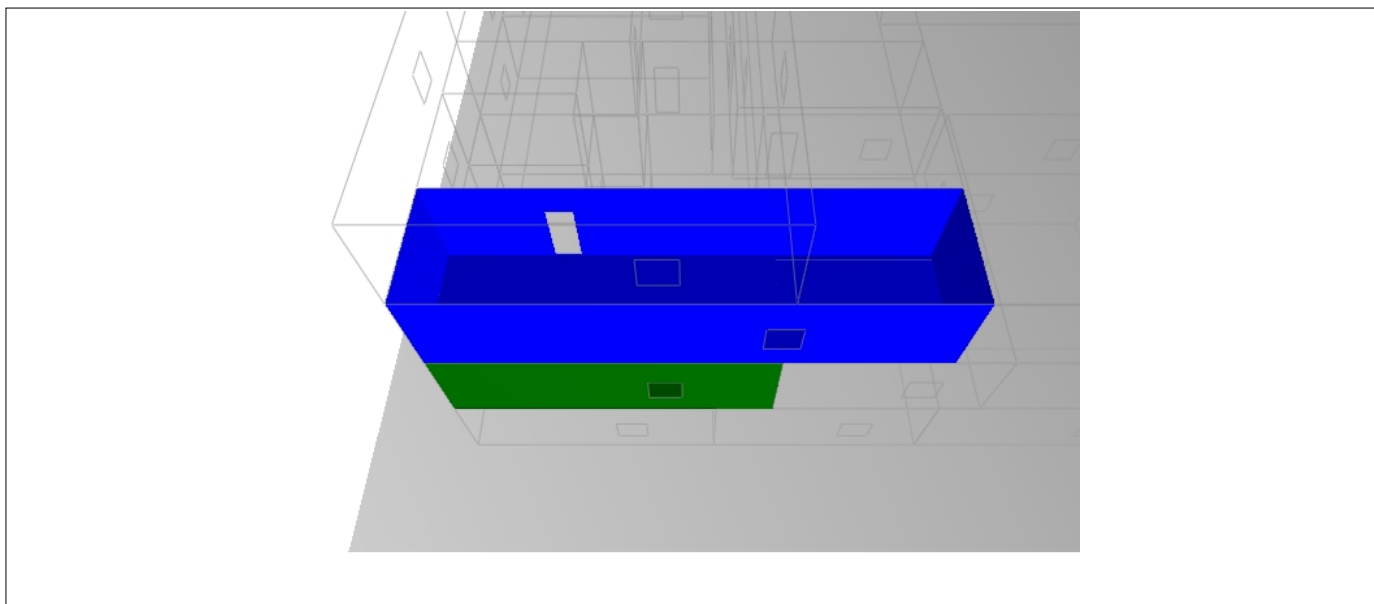
SONarchitectProfesional

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	4 de 15	Hoja 13

Ventanas, Puertas y Capialzados				
Descriptor	S [m ²]	R _A [dBA]	C _{tr} [dB]	D _{RA} [dBA]
Puerta (30dB)	2,00	30,00	-3,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	D _{nT,A} [dBA]	41	-	-
El recinto CUMPLE los requisitos del DB-HR ya que el índice global de reducción acústica del tabique RA=54,00 dBA entre dos recintos de una misma unidad de uso no es menor de 33 dBA.				

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	5 de 15	Hoja 14



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		2º	164,28

Soluciones Constructivas

D1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F2	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F3	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)
F4	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	26,00	0,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F1	16,80	2,60	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F2	11,10	2,60	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F3	11,00	10,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F4	44,40	10,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		1º	78,00

Soluciones Constructivas

d1	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m²)
f1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	26,00	0,00	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00
f1	7,80	2,60	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f2	7,80	2,60	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	30,00	10,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f4	30,00	10,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

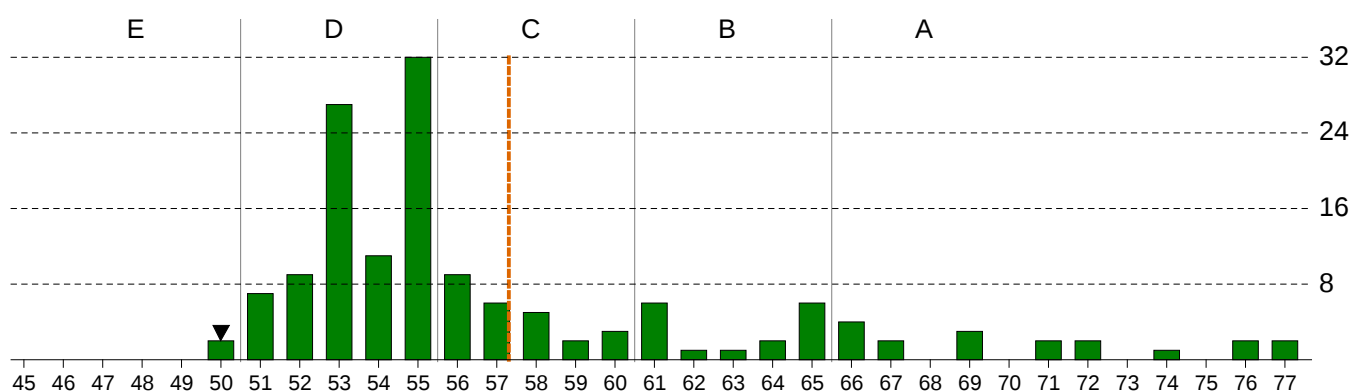
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	5 de 15	Hoja 15

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR

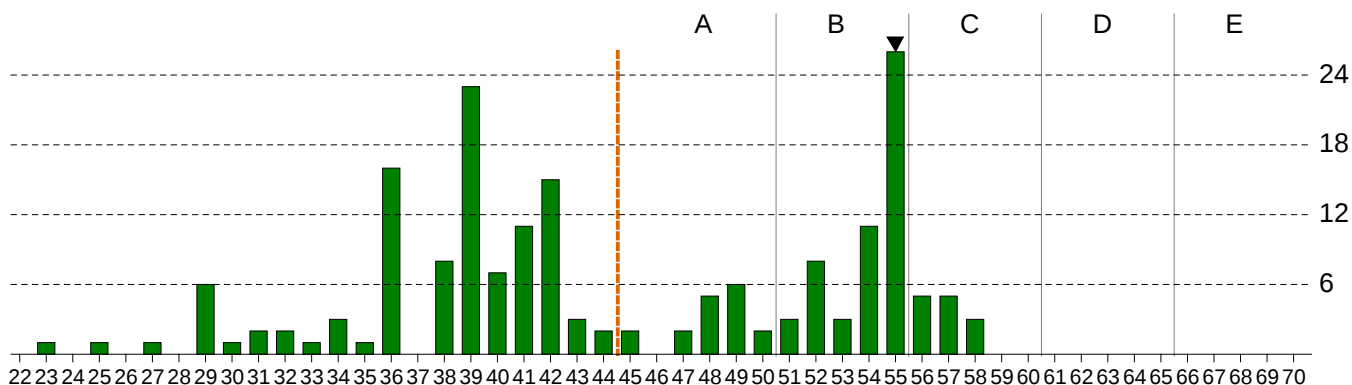
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{nT,A}$ [dBA]	50	50	CUMPLE
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	$L'_{nT,w}$ [dB]	55	65	CUMPLE

HISTOGRAMAS

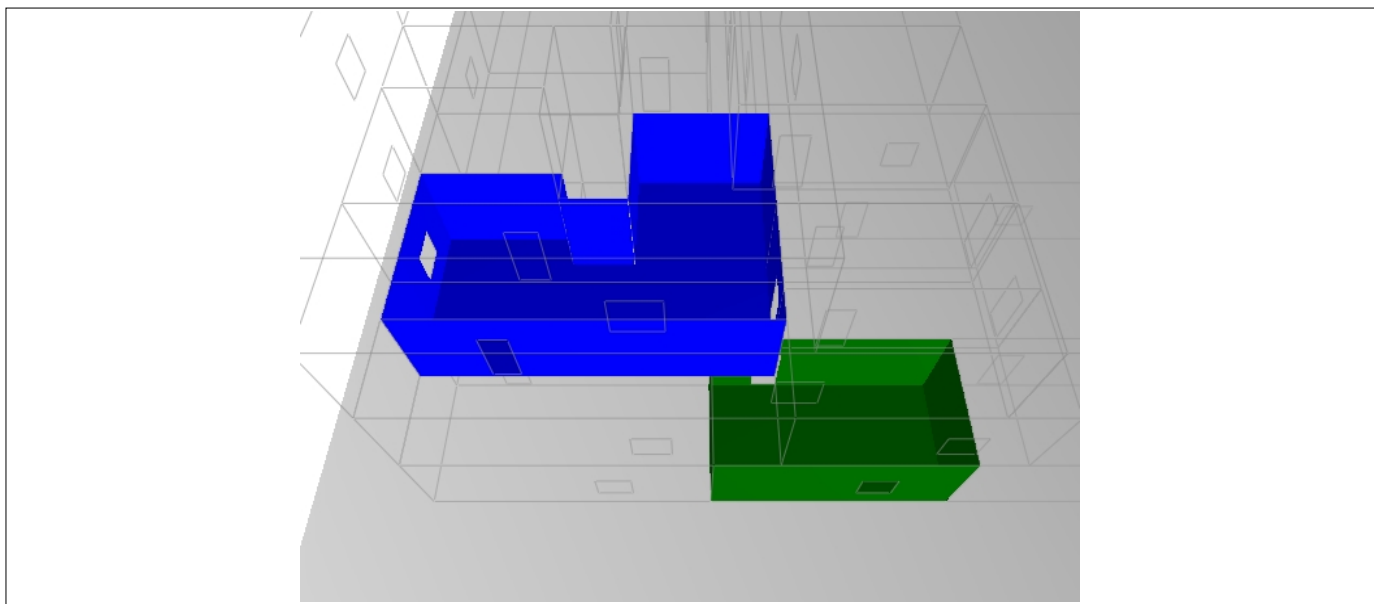
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{nT,A}$ [dBA]



Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w}$ [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	6 de 15	Hoja 16



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Uso Común		1º	168,20

Soluciones Constructivas

D1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
F3	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F4	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F5	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	2,13	0,00	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F1	8,40	0,30	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F2	2,70	0,90	51,80	54,00	-	0,00	0,00
F3	9,87	1,20	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F4	44,07	1,77	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
F5	30,00	1,77	51,80	54,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		Bajo	79,80

Soluciones Constructivas

d1	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m ²)
f1	INCO70.4 H140
f2	INCO70.4 H140
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f4	INCO70.4 H140
f5	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

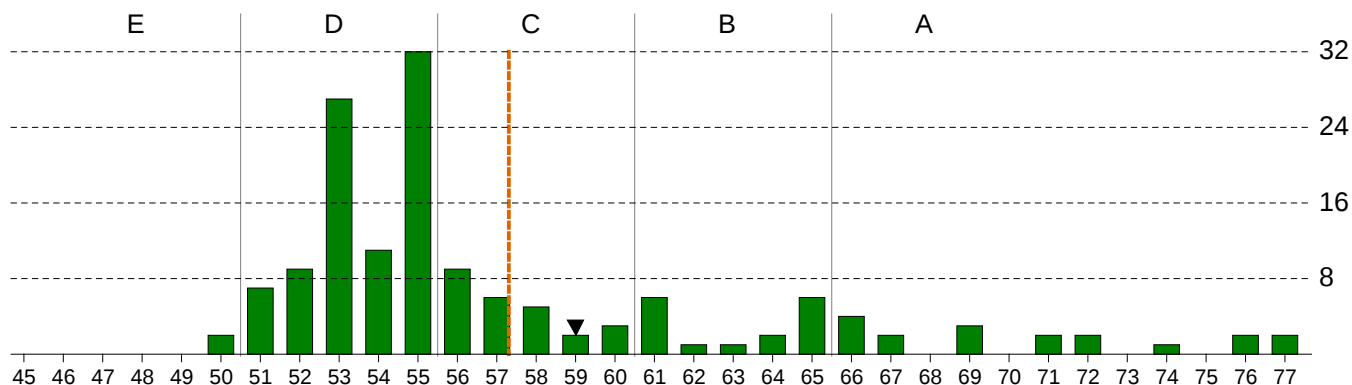
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	2,13	0,00	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00
f1	1,57	0,30	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
f2	18,29	0,90	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	6 de 15	Hoja 17

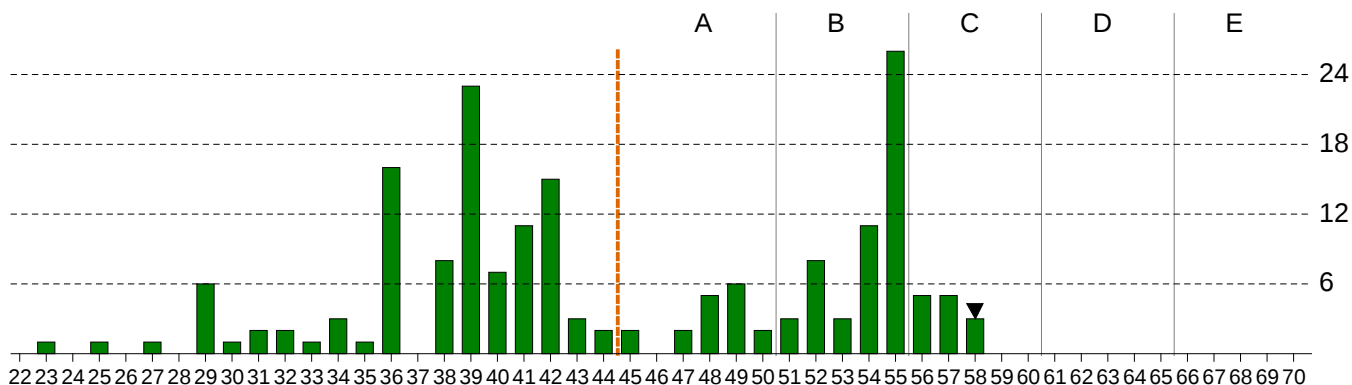
Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
f3	11,40	1,20	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f4	4,61	1,77	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
f5	21,00	1,77	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo		D _{nT,A} [dBA]	59	50
Nivel de Presión de Ruido de Impactos		L' _{nT,w} [dB]	58	65
				CUMPLE
				CUMPLE

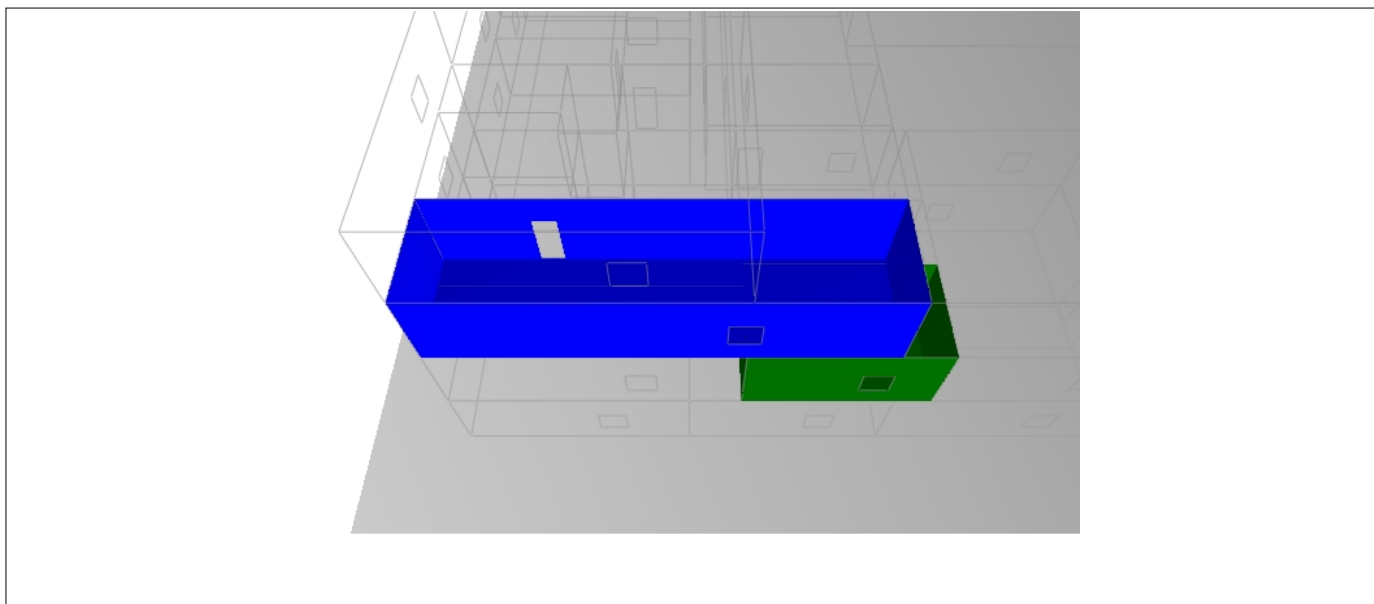
HISTOGRAMAS
Aislamiento a Ruido Aéreo D _{nT,A} [dBA]



Nivel de Presión de Ruido de Impactos L' _{nT,w} [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	7 de 15	Hoja 18



RECINTO EMISOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		2º	164,28

Soluciones Constructivas	
F1	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m²)

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
F1	0,96	4,80	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00

RECINTO RECEPTOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		1º	68,25

Soluciones Constructivas	
f1	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m²)
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15

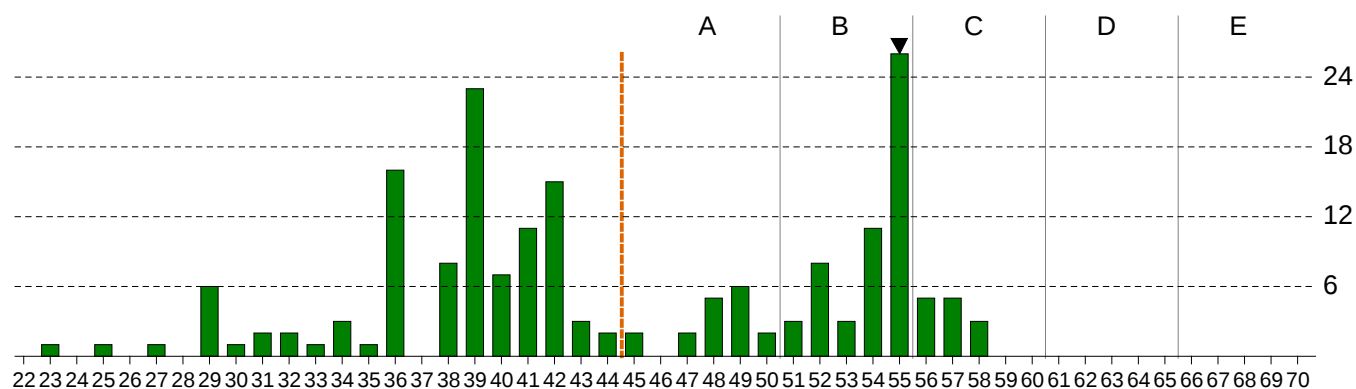
Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
f1	16,80	4,80	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
f2	19,50	4,80	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	L' _{nT,w} [dB]	55	65	CUMPLE

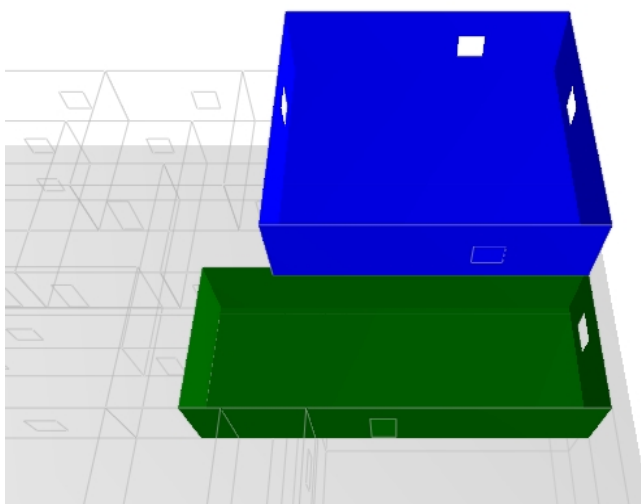
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	7 de 15	Hoja 19

HISTOGRAMAS

Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w}$ [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	8 de 15	Hoja 20



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Actividad/Instalaciones		3º	287,04

Soluciones Constructivas

D1	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F2	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F3	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F4	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F5	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	3,12	0,00	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F1	27,60	0,30	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F2	27,60	0,30	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F3	16,92	5,13	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F4	17,40	5,27	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F5	31,20	10,40	318,00	53,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		2º	180,14

Soluciones Constructivas

d1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m ²)
f1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f2	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

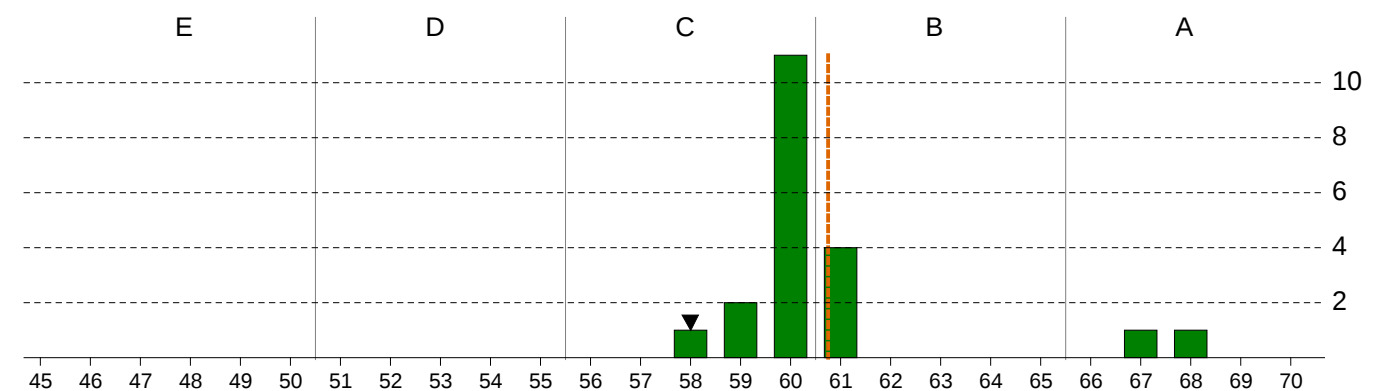
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	3,12	0,00	292,00	48,00	87,00	5,00	5,00
f1	14,10	0,30	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f2	56,93	0,30	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
f3	22,51	5,13	51,80	54,00	-	0,00	0,00

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	8 de 15	Hoja 21

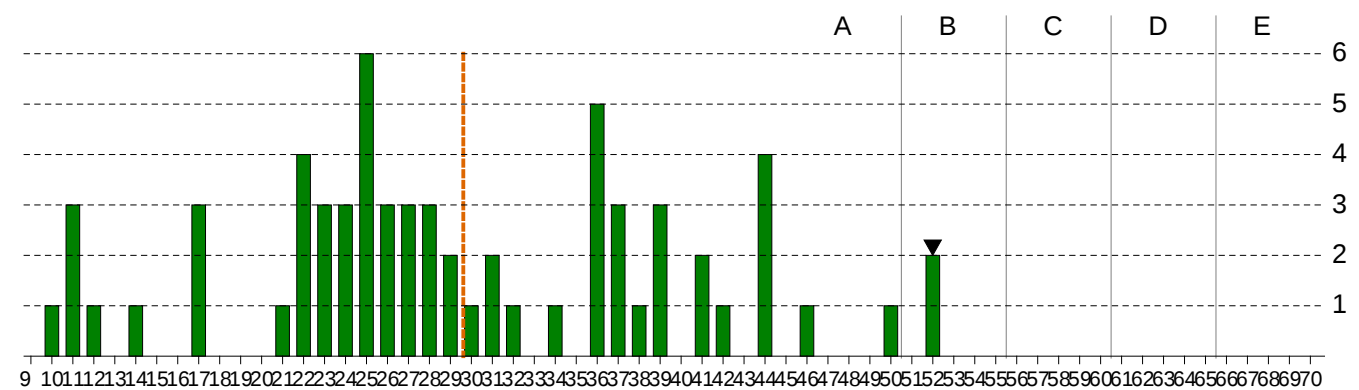
Parámetros Acústicos							
	$S [m^2]$	$l [m]$	$m' [kg/m^2]$	$R_A [dBA]$	$L_{n,w} [dB]$	$DR_A [dBA]$	$DL_w [dB]$
f4	15,82	5,27	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{nT,A} [dBA]$	58	55	CUMPLE
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	$L'_{nT,w} [dB]$	52	60	CUMPLE

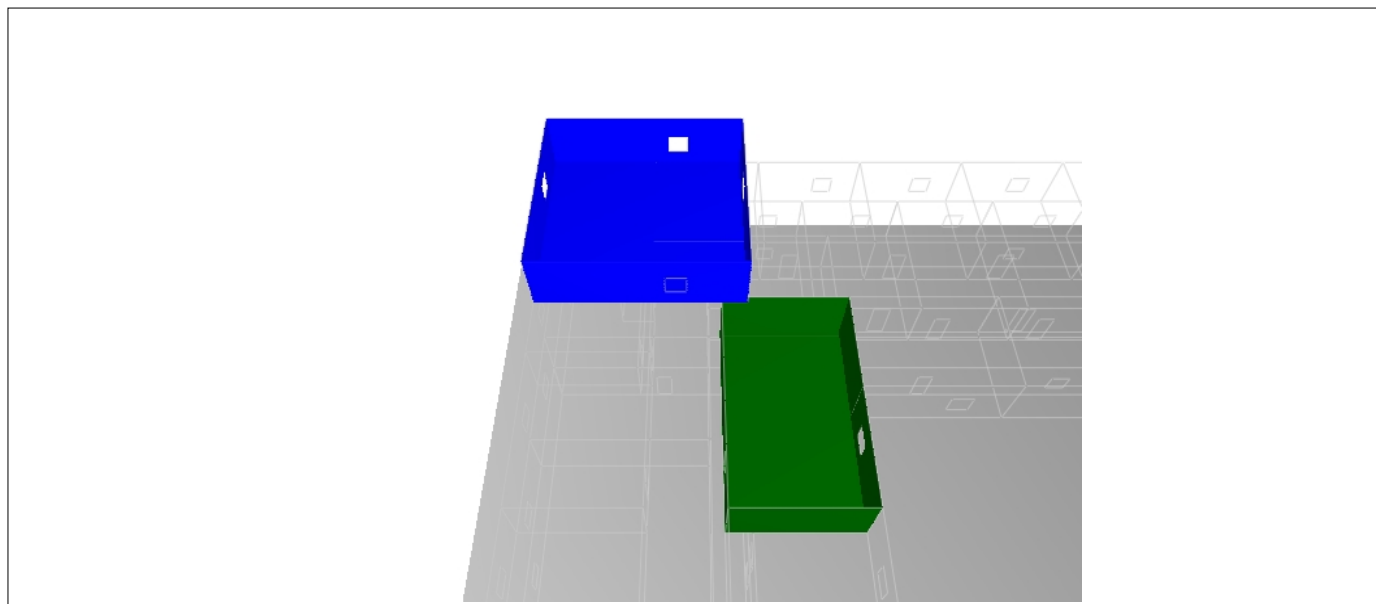
HISTOGRAMAS
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{nT,A} [dBA]$



Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w} [dB]$
--



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	9 de 15	Hoja 22



RECINTO EMISOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Actividad/Instalaciones		3º	276,00

Soluciones Constructivas

D1	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F1	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F2	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F3	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	0,36	0,00	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F1	15,84	0,30	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F2	27,60	0,30	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F3	30,00	1,20	318,00	53,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Dormitorio resid/sanit		2º	180,00

Soluciones Constructivas

d1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m ²)
f1	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	0,36	0,00	292,00	48,00	87,00	5,00	5,00
f1	59,64	0,30	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
f2	30,00	0,30	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	18,00	1,20	51,80	54,00	-	0,00	0,00

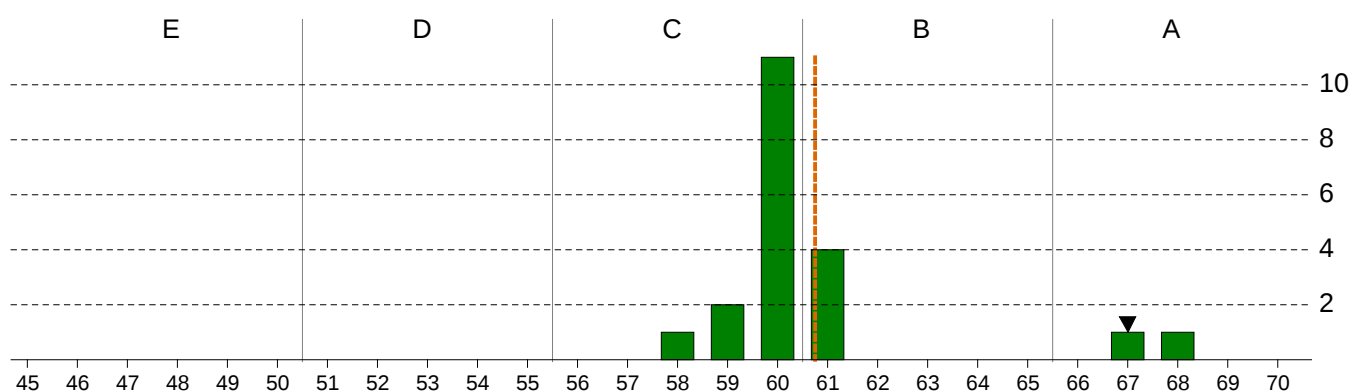
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	9 de 15	Hoja 23

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR

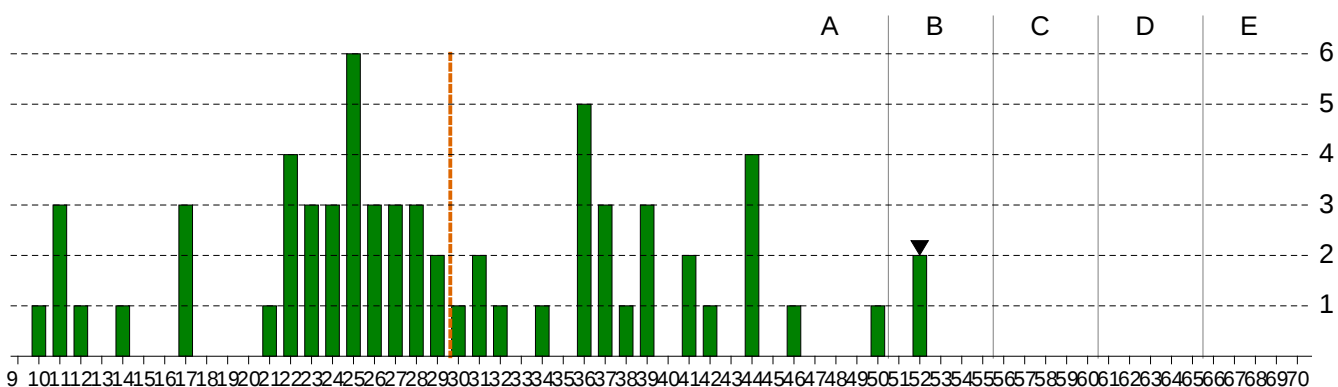
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{nT,A}$ [dBA]	67	55	CUMPLE
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	$L'_{nT,w}$ [dB]	52	60	CUMPLE

HISTOGRAMAS

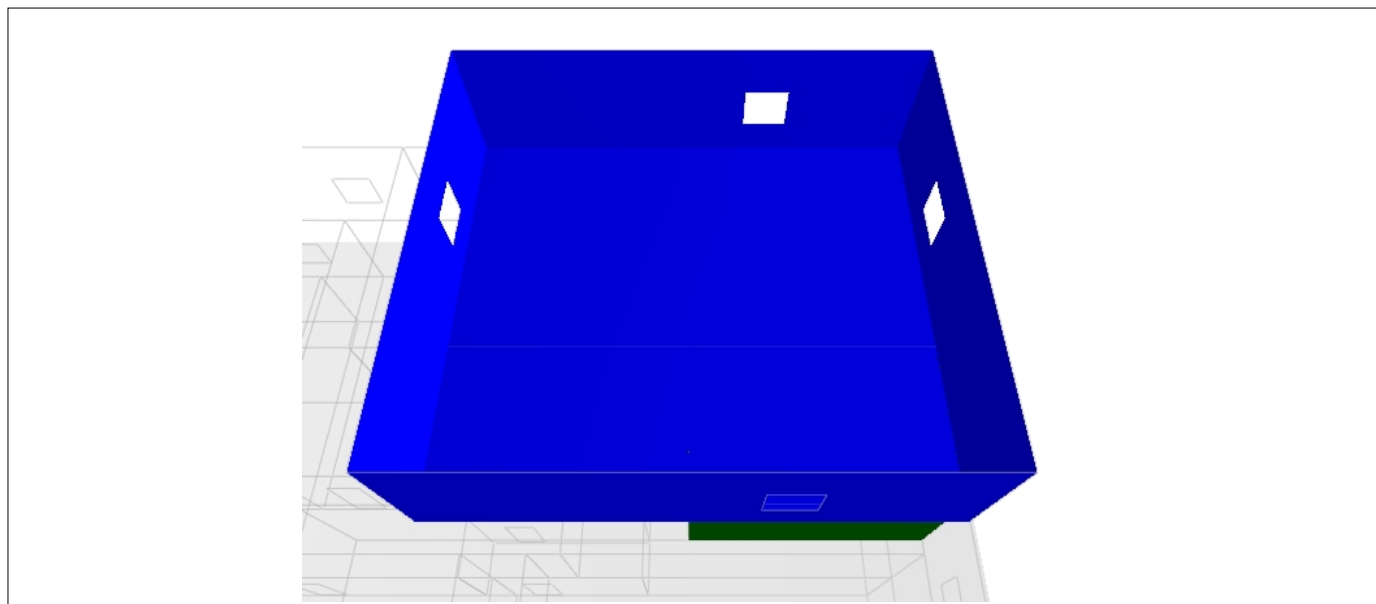
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{nT,A}$ [dBA]



Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w}$ [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	10 de 15	Hoja 24



RECINTO EMISOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Actividad/Instalaciones		3º	287,04

Soluciones Constructivas	
F1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m²)

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
F1	3,12	5,27	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00

RECINTO RECEPTOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Escalera		2º	52,21

Soluciones Constructivas	
f1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m²)
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15

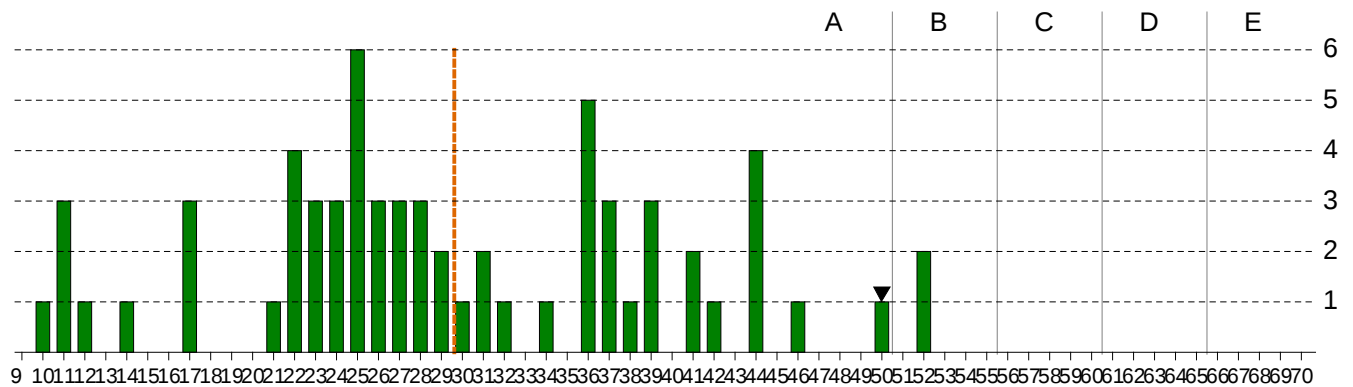
Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
f1	17,40	5,27	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
f2	15,82	5,27	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	L' _{nT,w} [dB]	50	60	CUMPLE

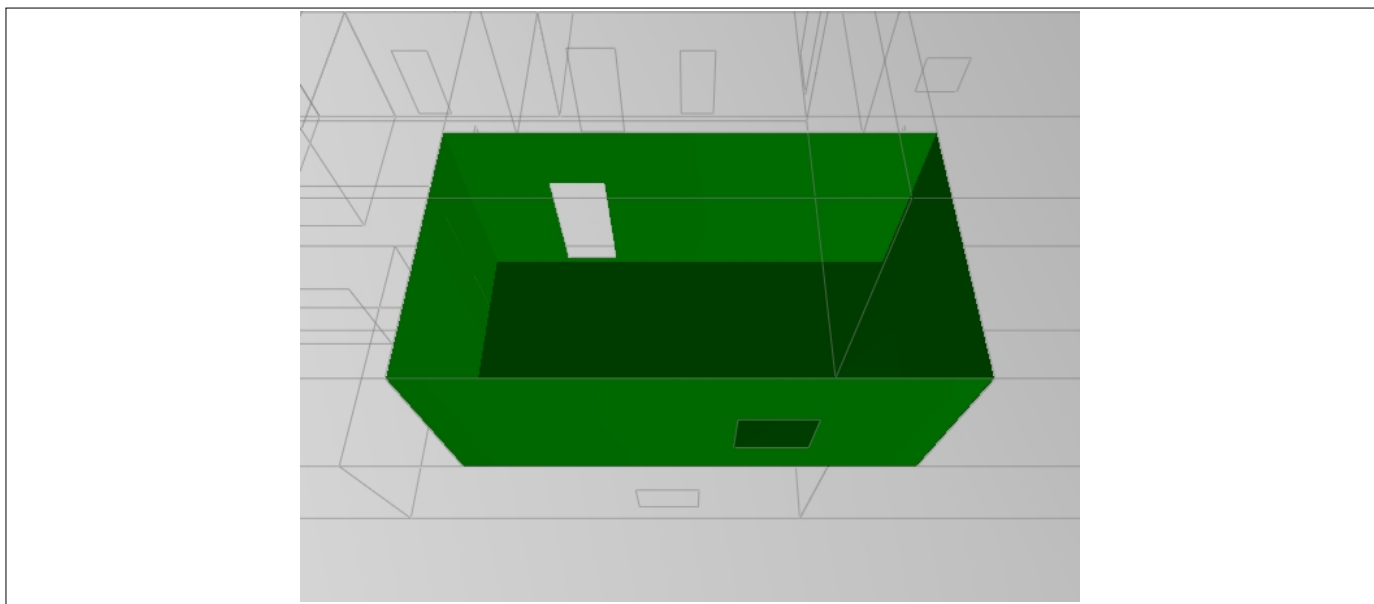
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	10 de 15	Hoja 25

HISTOGRAMAS

Nivel de Presión de Ruido de Impactos $L'_{nT,w}$ [dB]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	11 de 15	Hoja 26



FACHADA

Tipo de Ruido Exterior	L_d [dB]
Automóviles y Ferrocarriles	60,00

Soluciones Constructivas

D1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F2	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F3	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F4	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F5	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
F6	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	C _{tr} [dB]	Forma	DL _{fs} [dB]
D1	19,50	0,00	318,00	53,00	-	-	0,00
F1	25,50	1,27	318,00	53,00	-	-	0
F2	64,20	1,70	318,00	53,00	-	-	0
F3	30,00	3,00	318,00	53,00	-	-	0
F4	21,68	3,00	318,00	53,00	-	-	0
F5	44,40	4,80	318,00	53,00	-	-	0
F6	21,00	5,23	318,00	53,00	-	-	0

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		1º	68,25

Soluciones Constructivas

d1	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f1	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
f2	INCO70.4 H140
f3	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f5	INCO70.4H140+YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m ²)
f6	INCO70.4 H140+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)

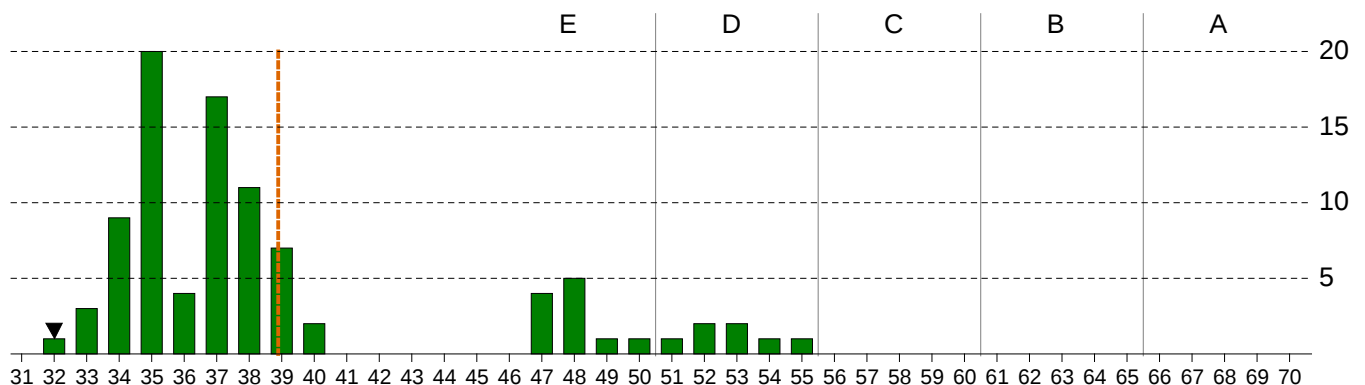
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	11 de 15	Hoja 27

Parámetros Acústicos							
	$S [m^2]$	$l [m]$	$m' [kg/m^2]$	$R_A [dBA]$	$L_{n,w} [dB]$	$DR_A [dBA]$	$DL_w [dB]$
d1	19,50	0,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f1	4,46	1,27	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00
f2	5,95	1,70	244,00	46,00	89,00	0,00	0,00
f3	7,80	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f4	10,50	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f5	16,80	4,80	244,00	46,00	89,00	13,00	9,00
f6	18,29	5,23	244,00	46,00	89,00	8,00	30,00

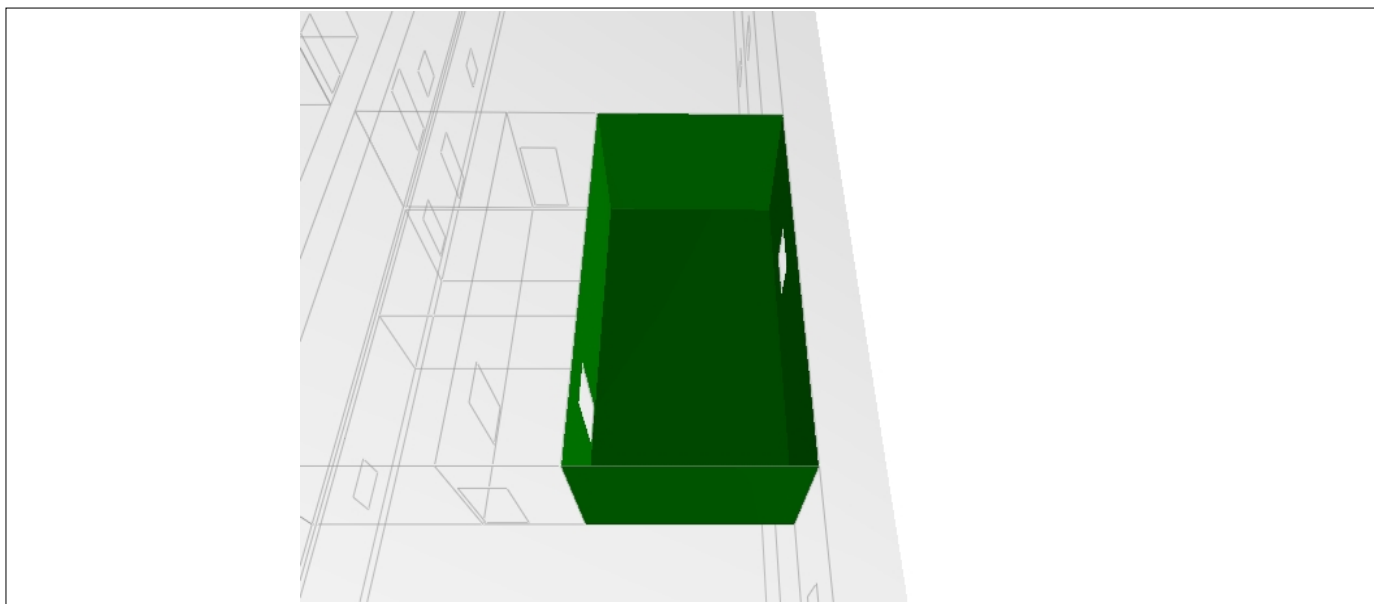
Ventanas, Puertas y Capialzados				
Descriptor	$S [m^2]$	$R_A [dBA]$	$C_{tr} [dB]$	$DR_A [dBA]$
Sen_DES4	2,00	26,00	-1,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{2m,nT,Atr} [dBAtr]$	32	30	CUMPLE

HISTOGRAMA
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{2m,nT,A} [dBA]$



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	12 de 15	Hoja 28



CUBIERTA

Tipo de Ruido Exterior	L _d [dB]
Automóviles y Ferrocarriles	60,00

Soluciones Constructivas

D1	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
F1	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
F2	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
F3	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm

Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	C _{tr} [dB]	Forma	DL _{fs} [dB]
D1	29,75	0,00	200,00	45,00	-	-	0
F1	51,75	3,90	200,00	45,00	-	-	0
F2	116,10	3,90	200,00	45,00	-	-	0
F3	14,57	7,64	200,00	45,00	-	-	0

RECINTO RECEPTOR

Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Estancia cult/doc/admin/r		2º	89,24

Soluciones Constructivas

d1	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
f1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

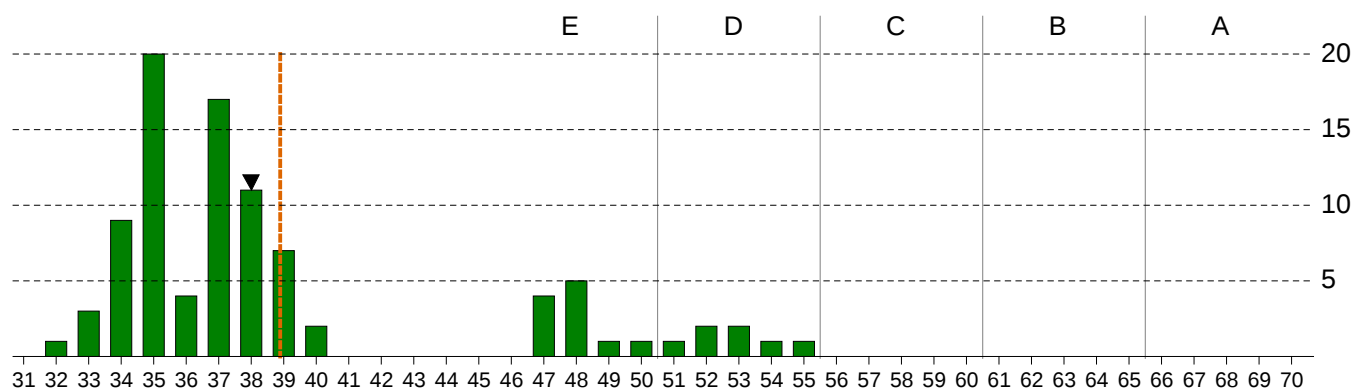
Parámetros Acústicos

	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	DL _w [dB]
d1	29,75	0,00	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
f1	11,71	3,90	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f2	11,71	3,90	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	22,80	7,60	318,00	53,00	-	0,00	0,00
f4	22,93	7,64	51,80	54,00	-	0,00	0,00

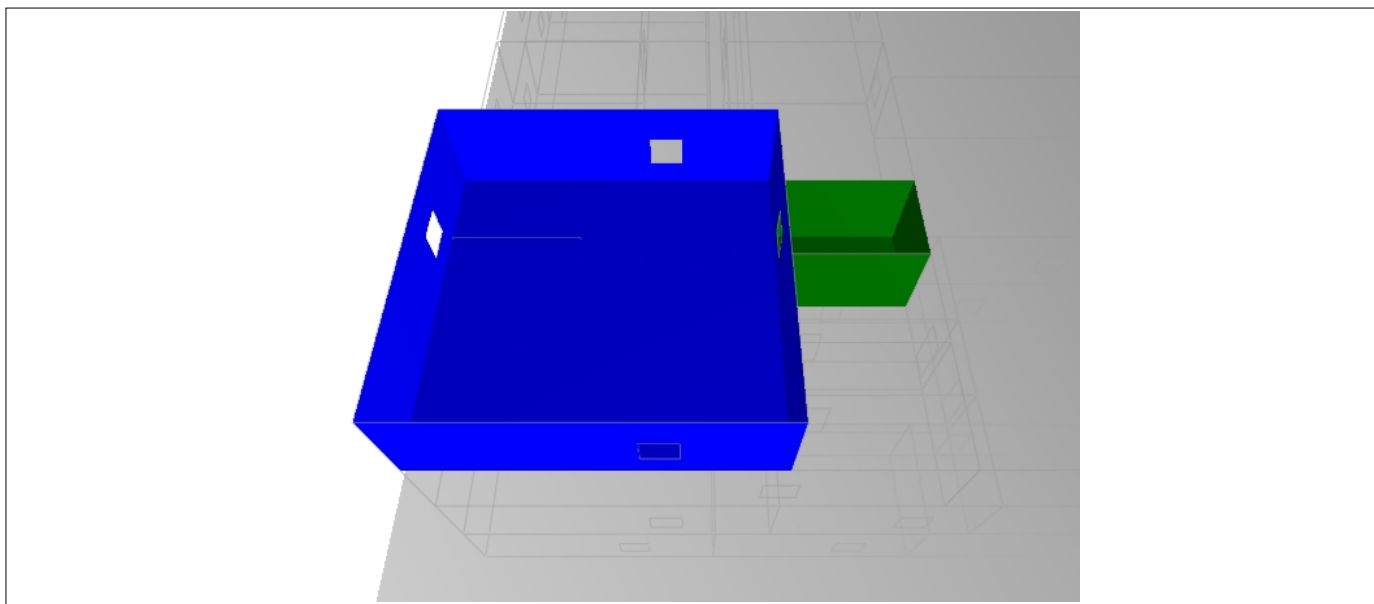
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	12 de 15	Hoja 29

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{2m,nT,Atr}$ [dBAtr]	38	30	CUMPLE

HISTOGRAMA
Aislamiento a Ruido Aéreo $D_{2m,nT,A}$ [dBA]



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	13 de 15	Hoja 30



RECINTO EMISOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Actividad/Instalaciones		3º	294,00

Soluciones Constructivas	
D1	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F1	INCO 70.4 H160+AC+M50+ARMW20(m=350kg/m ²)
F2	RE+BHAL-H290+RI15(áridos ligeros)
F3	RE+BHAL-H290+RI15(áridos ligeros)

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
D1	3,60	0,00	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F1	41,47	1,20	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
F2	30,00	1,20	318,00	53,00	-	0,00	0,00
F3	29,40	3,00	318,00	53,00	-	0,00	0,00

RECINTO RECEPTOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Habitable		2º	53,96

Soluciones Constructivas	
d1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m ²)
f1	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15
f3	P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm
f4	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
d1	3,60	0,00	292,00	48,00	87,00	5,00	5,00
f1	18,00	1,20	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f2	18,00	1,20	51,80	54,00	-	0,00	0,00
f3	14,39	3,00	200,00	45,00	88,00	0,00	0,00
f4	8,99	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

Documento Básico HR Protección frente al ruido

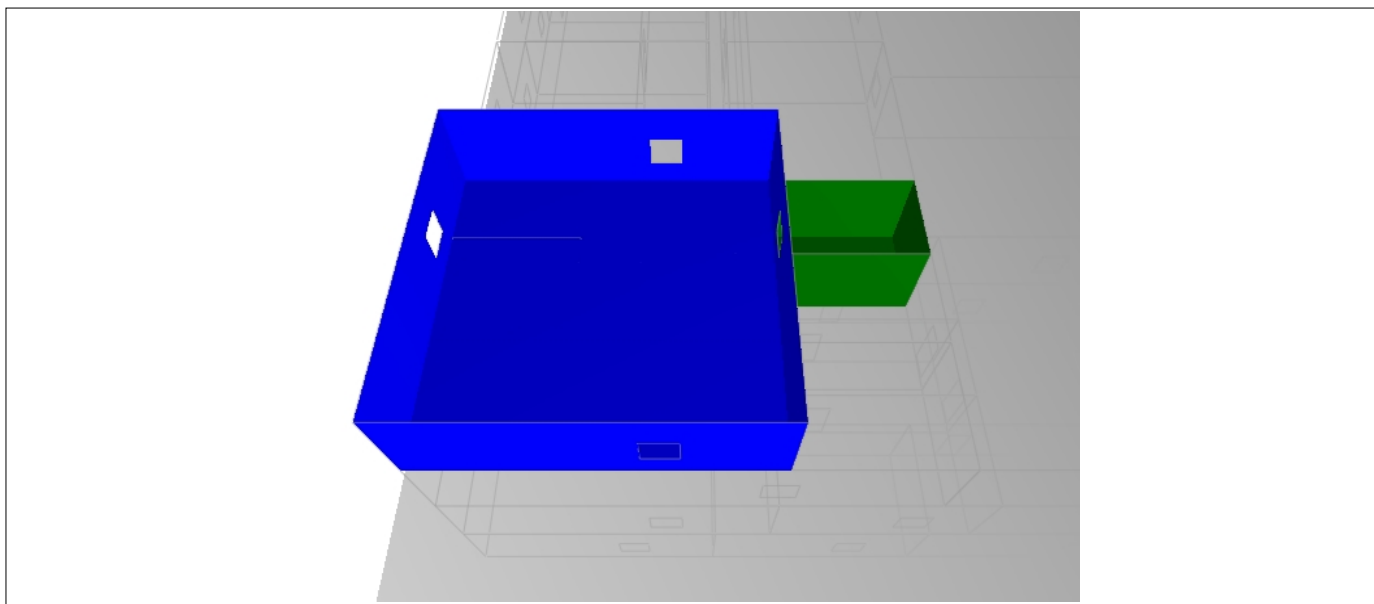
Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impacto

SONarchitectProfesional

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	13 de 15	Hoja 31

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Aislamiento a Ruido Aéreo	$D_{nT,A}$ [dBA]	56	45	CUMPLE
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	$L'_{nT,w}$ [dB]	55	60	CUMPLE

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Ficha	14 de 15	Hoja 32



RECINTO EMISOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Actividad/Instalaciones		3º	294,00

Soluciones Constructivas	
F1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m ²)

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
F1	41,47	3,00	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00

RECINTO RECEPTOR			
Tipo de Recinto	Nombre	Unidad de Uso	V [m ³]
Habitable		2º	53,96

Soluciones Constructivas	
f1	INCO 70.4 H160+YL15+C[=100](m=350kg/m ²)
f2	YL2x15+ATMW70+YL2x15

Parámetros Acústicos							
	S [m ²]	l [m]	m' [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	D _{RA} [dBA]	D _{Lw} [dB]
f1	3,60	3,00	292,00	48,00	87,00	8,00	30,00
f2	8,99	3,00	51,80	54,00	-	0,00	0,00

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL DB HR				
		Cálculo	Requisito	Cumplimiento
Nivel de Presión de Ruido de Impactos	L' _{nT,w} [dB]	36	60	CUMPLE

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Mediciones	Hoja	33

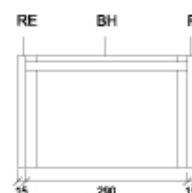
RESULTADOS DEL CALCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACION

Recinto	Tipo	V [m3]	T30 [s]	Req.	Cumplimiento
Recinto 2 (0º)	Uso Común	379,26	0,77	0,8	CUMPLE
Recinto 4 (0º)	Restaurantes y comedore	921,00	0,77	0,9	CUMPLE
Recinto 10 (0º)	Restaurantes y comedore	496,80	0,76	0,9	CUMPLE
Recinto 12 (0º)	Uso Común	303,55	0,76	0,8	CUMPLE
Recinto 19 (0º)	Restaurantes y comedore	380,64	0,82	0,9	CUMPLE
Recinto 25 (1º)	Uso Común	168,20	0,76	0,8	CUMPLE
Recinto 34 (1º)	Uso Común	161,17	0,66	0,8	CUMPLE
Recinto 35 (1º)	Uso Común	181,65	0,66	0,8	CUMPLE
Recinto 44 (1º)	Aulas y salas de conferen	385,14	0,55	0,7	CUMPLE
Recinto 47 (1º)	Uso Común	243,91	0,77	0,8	CUMPLE
Recinto 48 (1º)	Uso Común	135,96	0,65	0,8	CUMPLE
Recinto 57 (2º)	Uso Común	169,08	0,76	0,8	CUMPLE
Recinto 66 (2º)	Uso Común	735,09	0,67	0,8	CUMPLE
Recinto 74 (2º)	Aulas y salas de conferen	950,16	0,59	0,7	CUMPLE
Recinto 75 (2º)	Uso Común	1364,30	4,92	0,8	NO CUMPLE
Recinto 83 (2º)	Uso Común	248,88	0,76	0,8	CUMPLE
Recinto 87 (2º)	Uso Común	373,27	0,77	0,8	CUMPLE

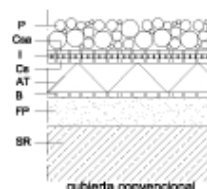
Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Mediciones	Hoja	34

MEDICIONES

Fachada			Sin aislamiento		
RE+BHAL-H290+RI15(áridosligeros)					
/					
m [kg/m ²]	RA [dBA]	Ln,w [dB]		DR _A [dBA]	DL _w [dB]
318,00	53,00	-		-	-
				2059.80 m ²	



Cubierta			Grava	
P+Csa+I+Cs+AT+B+FP+FU_BP_EPSmec-enr250mm				
ATEDY - AFELMA				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m ²]	RA [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
200,00	45,00	88,00	-	-
			2534.70 m ²	



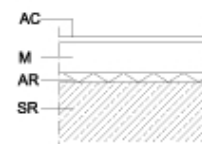
Forjado			Unidireccional	
INCO 70.4 H160				
/				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
292,00	48,00	87,00	-	-
			387,60 m ²	

Forjado			Unidireccional	
INCO70.4 H140				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
244,00	46,00	89,00	-	-
			5651.30 m ²	

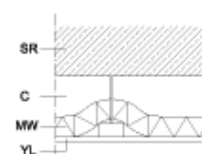
Partición			De entramado autoportante		
YL2x15+ATMW70+YL2x15					
/					
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com	
m [kg/m ²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]	
51,80	54,00	-	-	-	
				3883,30 m ²	

Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Mediciones	Hoja	35

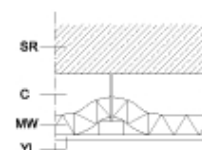
Suelo Flotante			Con capa de mortero	
AC+M50+ARMW20(m=350kg/m²)				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m²]	R _A [dBA]	L _{n,w} [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
-	-	-	8,00	30,00
			5584,10 m²	



Techo Suspendido			Con cámara	
YL15+C[=100](m=350kg/m²)				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m²]	RA [dBA]	Ln,w [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
-	-	-	5,00	5,00
			387.60 m²	



Techo Suspendido			Con cámara	
YL15+ATMW50+C100(m=350kg/m²)				
/		afelma@aislar.es		www.sinruidos.com
m [kg/m²]	RA [dBA]	Ln,w [dB]	DR _A [dBA]	DL _w [dB]
-	-	-	13,00	9,00
			2062.30 m²	



Ventana		Deslizante	
Sen_DES4			
/	afelma@aislar.es	www.sinruidos.com	
R _w [dB]	C [dB]	C _{tr} [dB]	
-	-1,00	-1,00	
		215.00 m ²	



Puerta		Exterior	
Puerta batiente(4+6+4)exterior			
/		afelma@aislar.es	www.sinruidos.com
R _w [dB]		C [dB]	C _{tr} [dB]
-		-1,00	-2,00
			19.00 m ²



Proyecto	Rehabilitación Penal de Cuatro Torres	04/03/2016	Ref.	Penal
Autor	Francisco Javier Rodríguez Rodríguez	Mediciones	Hoja	36

Puerta		Interior
Puerta (30dB)		
/	afelma@aislar.es	www.sinruidos.com
R _w [dB]	C [dB]	C _{tr} [dB]
-	-1,00	-3,00
		166,00 m ²



Ventana		Oscilobatiente o no practicable
Sen_OSC/NP10+10		
/	afelma@aislar.es	www.sinruidos.com
R _w [dB]	C [dB]	C _{tr} [dB]
-	-1,00	-3,00
		76,00 m ²

