



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Caracterización de las condiciones acústicas de la Piscina de la ENM y optimización de posibles alternativas técnicas para incrementar el confort del recinto (valoradas en función de su carácter funcional, ejecución y estética)

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Fernando Pérez Gutiérrez

DIRECTORES: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez
Antonio Eirís Barca

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Caracterización de las condiciones acústicas de la Piscina de la ENM y optimización de posibles alternativas técnicas para incrementar el confort del recinto (valoradas en función de su carácter funcional, ejecución y estética)

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de realizar una caracterización del recinto de la piscina de la Escuela Naval Militar (ENM) con respecto a su acondicionamiento acústico, así como de determinar los principales factores causantes de las desfavorables condiciones acústicas actuales dentro del mismo. En este sentido, el tiempo de reverberación adopta un papel principal en el trabajo, al estar éste directamente relacionado con la persistencia temporal de la energía acústica proveniente de una fuente sonora y depender, fundamentalmente, de las dimensiones, geometría y acabados superficiales del recinto. Así, se han realizado cálculos del tiempo de reverberación usando dos métodos distintos: el método de cálculo general aportado por el DB-HR “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación (CTE) y realizando una simulación mediante el programa informático I-Simpa.

En este sentido, se ha tomado como criterio de calidad el valor de tiempo de reverberación (TR) exigido por el Consejo Superior de Deportes para recintos de piscinas públicas.

De este modo, se han realizado una serie de propuestas de mejora centradas en alcanzar el criterio de calidad acústica en la piscina de la ENM, y que han sido comparadas entre sí en función de sus factores condicionantes: el resultado obtenido del TR tras su posible instalación, la facilidad de ejecución “en obra”, el coste material de los elementos que las componen y la estética que permiten conseguir en el recinto.

PALABRAS CLAVE

Calidad acústica de recintos, piscina ENM, tiempo de reverberación, sistemas absorbentes

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los directores de este Trabajo de Fin de Grado, D. Francisco Javier Rodríguez Rodríguez y D. Antonio Eiris Barca por su incondicional entrega, dedicación y disponibilidad durante todo el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	5
1 Motivación y objetivos	7
1.1 Motivación	7
1.2 Objetivos	7
1.3 Estructura	8
2 Estado del arte	9
2.1 Conceptos previos necesarios para la comprensión del presente trabajo	9
2.1.1 Generación de la onda acústica	9
2.1.2 Magnitudes físicas relacionadas con la energía de un sonido: La presión sonora	11
2.1.3 Cuantificación del nivel de presión sonora: Escala en decibelios A (dBA)	11
2.1.4 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava	13
2.1.5 Sonido directo y reflejado	14
2.1.6 Aislamiento y acondicionamiento acústico	15
2.1.7 Comportamiento de los rayos acústicos al incidir en superficies	16
2.1.8 El tiempo de reverberación (TR)	18
2.1.9 Otros parámetros de calidad acústica de recintos: La inteligibilidad de la palabra	19
2.1.10 Absorción acústica y sus mecanismos	21
2.2 Acústica en recintos destinados al uso de Piscinas cubiertas	27
2.2.1 Problemática del ruido	27
2.2.2 Normativa y criterio de calidad adecuado	27
2.2.3 Casos prácticos analizados	29
3 Caso de estudio: Piscina de la ENM	33
3.1 Descripción del recinto	33
3.2 Caracterización del comportamiento acústico actual del recinto	39
3.2.1 Predicción del TR mediante el método de cálculo general del DB-HR	40
3.2.2 Simulación del TR mediante software I-Simpa	42
3.2.3 La problemática de la bóveda	49
3.2.4 Diagnóstico: Análisis de los resultados	51
3.3 Propuesta de mejora para incrementar el confort acústico: Definición de la solución técnica óptima	51
3.3.1 Análisis de las posibles alternativas	52

3.3.2 Diagnóstico de variables: Solución óptima	62
4 Conclusiones y líneas futuras	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Líneas futuras	66
5 Bibliografía.....	67
Anexo I: Glosario	69
Anexo II: Ejemplos de catálogos comerciales	73
Anexo III: Presentación del software I-simpa.....	79
Anexo IV: Fundamentos teóricos de los métodos de cálculo del software I-simpa	89
Anexo V: Criterios de calidad acústica en piscinas: norma Nide 3	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Generación de la onda acústica [3].....	9
Figura 2-2 Propagación de la onda acústica [3]	10
Figura 2-3 Escala de presión sonora [3].....	12
Figura 2-4 Bandas de octava [3]	14
Figura 2-5 Sonido directo y reflejado [3].....	15
Figura 2-6 Distribución del sonido [3].....	15
Figura 2-7 Conceptos de aislamiento y acondicionamiento acústico [4].....	16
Figura 2-8 Comportamiento de rayos acústicos al incidir en superficies	17
Figura 2-9 Focalización sonora debida a superficie cóncava.....	18
Figura 2-10 Gráfica tiempo de reverberación [3].....	18
Figura 2-11 Variación del TR en función de la absorción en un determinado recinto [3].....	19
Figura 2-12 Variabilidad de la absorción de un determinado material poroso en función de su espesor [3].....	22
Figura 2-13 Variabilidad de la absorción de un determinado material poroso en función de su distancia a la superficie de obra [3]	23
Figura 2-14 Variación de la absorción en función de la frecuencia de un material con distintos grados de porosidad. (1-porosidad alta, 2-porosidad media, 3-porosidad baja) [4]	23
Figura 2-15 Falso techo acústico de yeso laminado perforado [8]	24
Figura 2-16 Falso techo acústico fibras de madera aglomeradas [8]	24
Figura 2-17 Falso techo de madera perforada [8]	25
Figura 2-18 Techo con baffles fonoabsorbentes [9].....	25
Figura 2-19 Combinación de absorción acústica por resonancia y por porosidad [3]	26
Figura 2-20 Techo con baffles acústicos de la piscina cubierta pública de Monthérly [9]	31
Figura 3-1 Planta Recinto Piscina ENM (Proporcionada por la Oficina de Mantenimiento de la ENM)	33
Figura 3-2 Vista parte posterior del Recinto	34
Figura 3-3 Vista parte anterior del Recinto	34
Figura 3-4 Vista lateral del Recinto	35
Figura 3-5 Suelo y Piscina del Recinto	35
Figura 3-6 Suelo de Baldosas del Recinto	36
Figura 3-7 Gradas de Terrazo del Recinto	36
Figura 3-8 Pared anterior del Recinto	37
Figura 3-9 Ventana de Vidrio y Pared de enlucido de yeso del Recinto	37
Figura 3-10 Pared de Baldosas del Recinto	38

Figura 3-11 Pared lateral del Recinto.....	38
Figura 3-12 Techo del Recinto.....	39
Figura 3-13 Modelado del recinto en NX	43
Figura 3-14 Modelo en formato STL	43
Figura 3-15 Superficies definidas del modelo.....	44
Figura 3-16 Modelo con materiales asignados a las superficies	46
Figura 3-17 Disposición de fuentes sonoras (F01, F02) y receptores (R01-R12).....	47
Figura 3-18 Mallado SPPS.....	47
Figura 3-19 Gráfica TR según la banda de frecuencias	48
Figura 3-20 Mapa TR.....	49
Figura 3-21 Radio Bóveda	49
Figura 3-22 Prevención de la focalización [7]	50
Figura 3-23 Modificación de comportamiento de superficies cóncavas: a) Proyecto de material absorbente; b) Uso de difusores [7]	50
Figura 3-24 Panel para revestimiento fonoabsorbente [9]	52
Figura 3-25 Recinto con sistema de panel y revestimiento continuo fonoabsorbente [9]	54
Figura 3-26 Proyección de mortero fonoabsorbente [16]	54
Figura 3-27 Recinto con revestimiento continuo fonoabsorbente resonador [17]	56
Figura 3-28 Elementos cilíndricos fonoabsorbentes de espuma de melamina [9].....	58
Figura 3-29 Recinto con sistema de baffles absorbentes acústicos [9]	60
Figura 3-30 Sistema fonoabsorbente de paneles de madera laminada.....	60
Figura 3-31 Recinto con sistema fonoabsorbente de paneles de madera laminada [18].....	62
Figura 3-32 Opción seleccionada: baffles absorbentes acústicos [9]	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla de ponderación A [3]	13
Tabla 2-2 Calificación de la inteligibilidad en función del índice ALCons [8].....	20
Tabla 2-3 Frecuencias portadoras y de modulación (RASTI) [8].....	20
Tabla 2-4 Calificación de la inteligibilidad en función del índice RASTI [8].....	21
Tabla 2-5 Exigencias de TR según el Volumen del Recinto [1].....	29
Tabla 3-1 Áreas de los acabados del recinto	39
Tabla 3-2 Coeficientes de absorción acústica de las diferentes superficies del recinto de la piscina de la ENM [10]	40
Tabla 3-3 TR deseado para el Recinto [1].....	41
Tabla 3-4 Caracterización Enlucido de yeso	44
Tabla 3-5 Caracterización Baldosas	45
Tabla 3-6 Caracterización Terrazo	45
Tabla 3-7 Caracterización Vidrio	45
Tabla 3-8 Caracterización Agua.....	46
Tabla 3-9 Resultados de la simulación.....	48
Tabla 3-10 Resumen de los resultados	62

1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

Los recintos que albergan piscinas cubiertas carecen frecuentemente de una calidad acústica apropiada para sus usuarios, principalmente debido a sus elevados volúmenes y sus elementos superficiales de los acabados constructivos interiores, carentes de capacidad absorbente acústica. Así, los niveles de presión sonora que se generan en estos recintos, tanto por las personas como por los equipos de megafonía, pueden llegar a alcanzar, en ocasiones, valores nocivos para el oído humano. Los efectos de un deficiente acondicionamiento acústico en una piscina como la de la ENM, en la que se celebran muchas actividades deportivas, son, entre otros, la falta de inteligibilidad de las instrucciones del instructor y la fatiga nerviosa por exposición al alto nivel de ruido durante largos periodos temporales.

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo residen en evaluar las condiciones acústicas del recinto de la piscina de la ENM en relación a su acondicionamiento acústico, presentar distintas propuestas de mejora y seleccionar la más idónea desde el punto de vista funcional, económico y estético.

En este sentido, se realizará una caracterización acústica del recinto, prestando especial atención en el tiempo de reverberación (TR) existente. Este parámetro se calculará aplicando dos metodologías diferentes: se hará uso de la hoja de cálculo proporcionada por el Código Técnico de la Edificación y se realizará una simulación acústica del recinto mediante el software *I-Simpa*. Los resultados obtenidos serán evaluados antes de proponer y analizar diferentes opciones de mejora que consigan satisfacer el tiempo de reverberación exigido por la Normativa establecida por el Consejo Superior de Deportes para piscinas cubiertas de carácter público. Cabe mencionar que el recinto de la piscina de la ENM, dada su fecha de construcción y su naturaleza, no está obligado a cumplir dicha normativa, ya que *“quedan fuera del ámbito de esta Norma de Proyecto, tanto las Piscinas cubiertas de carácter privado (destinadas al uso particular de una familia y de sus amistades) como las de carácter semipúblico (dedicada al servicio exclusivo de urbanizaciones y comunidades de propietarios)”* [1]; sin embargo, consideramos adecuado y de elevado interés conocer los valores que adopta el TR en relación a la citada normativa y las medidas técnicas de adecuación a éste límite.

1.3 Estructura

La ejecución del presente trabajo contará con los siguientes hitos:

En primer lugar, se realizará una revisión del estado del arte relativo a la problemática del ruido en las piscinas cubiertas, analizando algunos casos prácticos y explicando la situación de la normativa vigente al respecto. También se explicarán conceptos básicos de acústica relevantes para este trabajo. Este punto se recoge en el Capítulo 2 de la presente memoria.

El siguiente paso consistirá en la descripción detallada del recinto de la piscina de la ENM. Se describirán sus dimensiones, la geometría y los materiales de acabado que lo componen. De este modo, se procederá a la caracterización acústica del recinto de dos maneras diferentes. Se realizará una predicción del tiempo de reverberación del recinto mediante el método de cálculo general del Documento Básico de “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación y se desarrollará un modelado del recinto y la posterior simulación mediante el software *I-Simpa*. Una vez caracterizado el recinto, se procederá al estudio de diferentes alternativas técnicas de mejora, para, finalmente, definir la solución más óptima al problema del ruido. Todo esto se recoge en el Capítulo 0 de la presente memoria.

A continuación, se detallarán las conclusiones obtenidas durante la ejecución del trabajo. Así mismo, se desarrollará una reflexión sobre posibles líneas futuras derivadas del presente estudio. Este punto se recoge en el Capítulo 4 de la presente memoria.

En el Capítulo 5 se han incluido todas las referencias utilizadas para la ejecución de este Trabajo de Fin de Grado, así como los Anexos.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Conceptos previos necesarios para la comprensión del presente trabajo

Inicialmente, consideramos fundamental explicar, de modo sucinto, ciertos conceptos de teoría acústica. Así, a continuación se definen una serie de aspectos clave para la comprensión del presente trabajo.

2.1.1 Generación de la onda acústica

La onda sonora se puede definir como la propagación de una perturbación, caracterizada por la sucesión periódica, en espacio y tiempo, de compresiones y expansiones de volúmenes de aire. Esta onda se genera cuando una fuente sonora entra en vibración, la cual produce una interacción con las partículas adyacentes. Estas partículas comienzan a oscilar en torno a su posición de equilibrio, produciendo, a su vez, el mismo efecto en las partículas próximas. De este modo se transmiten las compresiones y expansiones de volúmenes de aire de forma continuada, como se aprecia en la Figura 2-1 [2].

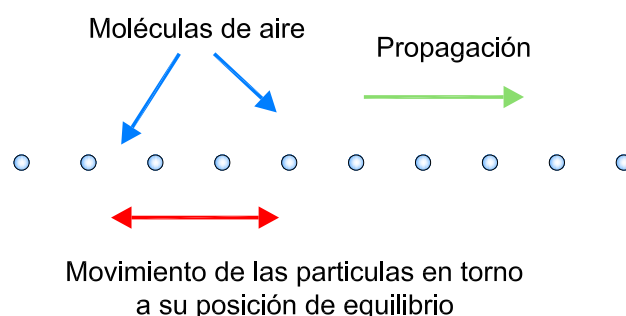


Figura 2-1 Generación de la onda acústica [3]

Este proceso produce perturbaciones que se traducen en variaciones de presión con respecto a la presión atmosférica. Estas variaciones, en espacio y en tiempo, generan una onda mecánica, que, en el caso de ser audible, se denomina onda sonora. La dirección de propagación de la onda es la misma que

la de la oscilación de las partículas. Al vibrar las moléculas solamente alrededor de su posición de equilibrio, solo se propaga la perturbación; por lo tanto, solamente existe propagación de energía y no de materia.

Las variaciones de presión con respecto a la presión atmosférica consisten en incrementos y disminuciones periódicas de la presión sonora alrededor de su valor de equilibrio (Figura 2-2). La presión acústica se puede definir como la diferencia entre la presión estática en un punto y la presión total instantánea en presencia de la onda acústica en el mismo punto [3] [4].

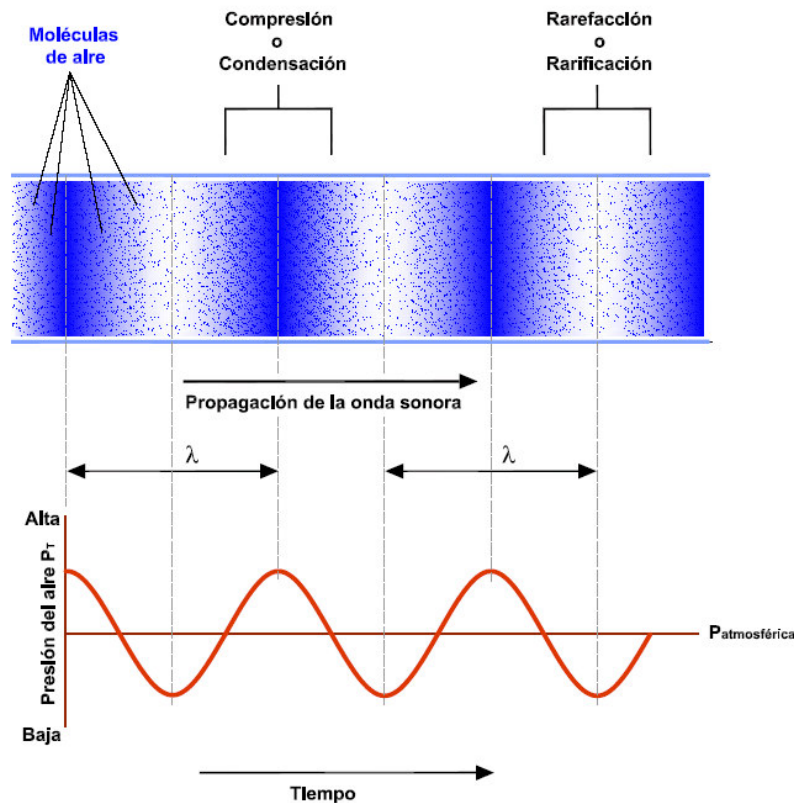


Figura 2-2 Propagación de la onda acústica [3]

Por otra parte, existen dos conceptos físicos fundamentales para definir una onda acústica: **frecuencia y longitud de onda**. Así, la frecuencia es el número de veces que la partícula pasa por la misma posición en el mismo sentido por unidad de tiempo (número de oscilaciones por segundo). Se mide en ciclos por segundo o hertzios (Hz). $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/s} = 1 \text{ s}^{-1}$. El valor máximo de la oscilación se denomina amplitud de presión asociada a la onda. La distancia entre dos compresiones o expansiones sucesivas recibe el nombre de longitud de onda (λ).

El tono de un sonido es una sensación subjetiva generada por la frecuencia de una onda. Los tonos graves se relacionan con frecuencias bajas y longitudes de onda grandes. Por el contrario, los agudos con frecuencias altas y longitudes de onda pequeñas.

Cuando tanto la amplitud como la frecuencia se mantienen constantes a lo largo del tiempo, el movimiento de vibración se puede representar mediante la función matemática del seno o coseno, como un movimiento armónico simple.

Las ondas sonoras son percibidas por el oído humano siempre que el rango de frecuencias esté comprendido entre aproximadamente 20 Hz y 20 kHz. El oído, al captar las fluctuaciones de presión, las transforma en estímulos nerviosos que son enviados al cerebro. De este modo se produce la sensación del sonido [3].

2.1.2 Magnitudes físicas relacionadas con la energía de un sonido: La presión sonora

Existen tres magnitudes físicas que es necesario definir en relación con la energía de una onda acústica:

- a) Potencia sonora: Cantidad de energía sonora emitida por una fuente sonora. Su valor no depende del punto del espacio en que se mide ni de las condiciones del recinto en que se localiza el foco sonoro. Es una magnitud característica de la fuente sonora. La potencia sonora se expresa en vatios (w).
- b) Intensidad sonora: Potencia sonora radiada por unidad de superficie. Es una magnitud dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos, o en un recinto cerrado). La intensidad sonora se expresa en w/m^2 .
- c) Presión sonora: Representa el incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de la onda acústica. Depende de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que ésta se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos o en un recinto cerrado). La presión sonora se expresa en pascales o N/m^2 . Esta magnitud es determinante para calcular el tiempo de reverberación, parámetro clave para el desarrollo del presente TFG y que definiremos posteriormente [3].

2.1.3 Cuantificación del nivel de presión sonora: Escala en decibelios A (dBA)

Aunque la presión sonora se expresa en unidades naturales, su cuantificación en cuanto a niveles de presión acústica se expresa en decibelios (dB).

En este sentido, existen dos premisas fundamentales que hay que considerar: en primer lugar, el oído humano posee gran sensibilidad, pues es capaz de detectar variaciones de presión de extrema debilidad y, además, responde a sensaciones sonoras dentro de un amplio margen. Por ello, es necesaria una escala comprimida variable en un menor margen, que sea manejable. En segundo lugar, el oído posee una respuesta de carácter logarítmico y no lineal. Es decir, para que el oído humano aprecie subjetivamente un cambio en el medio dos veces más ruidoso, es necesario situar diez fuentes sonoras idénticas a la inicial.

Para adecuarse a tales condicionantes se emplea una escala de medición relativa cuya magnitud es el nivel de sonido y cuyas unidades o niveles se denominan decibelios (dB). Dicha escala se establece a partir de una expresión matemática basada en la noción del logaritmo decimal, que relaciona la presión acústica con una referencia correspondiente al límite de sensibilidad humana. Es decir, la cuantificación de la variación de la presión en un punto como consecuencia de la propagación de una onda sonora a través del aire. Adopta como referencia la presión acústica “umbral” (variación de presión respecto a la presión atmosférica más pequeña que puede ser percibida por el oído humano a 1000 Hz, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} N/m^2$), obteniéndose entonces el denominado nivel de presión acústica expresado en dB:

$$L(\text{dB}) = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

- L_p = Nivel de presión acústica (en dB)
- P = Presión acústica que se desea cuantificar
- P_0 = Presión de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1000 Hz ($2 \cdot 10^{-5}$ N/m²)

De este modo, se obtiene una escala “comprimida”, y variable en un menor margen que los umbrales de presión acústica, en la cual el nivel de presión sonora de los sonidos audibles se sitúa en un rango manejable, normalmente de 0 dB a 120 dB [3]:

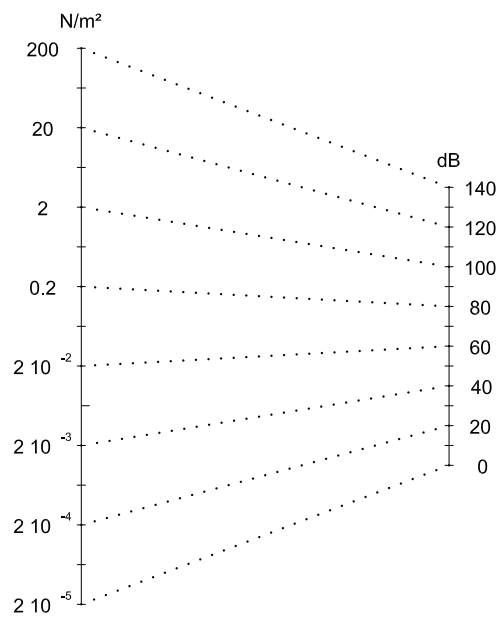


Figura 2-3 Escala de presión sonora [3]

Cuando se pretenden realizar estudios de contaminación acústica se emplea un filtro de ponderación en los aparatos de medida. Este filtro produce una atenuación importante de los sonidos de baja frecuencia, no modifica la medida del sonido alrededor de los 1000 Hz y aumenta algo la medida de los sonidos comprendidos entre 2000 y 4000 Hz. Así se caracteriza la reacción humana hacia los ruidos complejos y se imita la sensación de molestia que éstos originan. Los decibelios se denominan entonces decibelios A (dBA).

En este sentido, las ponderaciones para las diferentes frecuencias centrales de bandas de 1/3 de octava (concepto explicado posteriormente) del espectro audible, según la escala A, se muestran en la Tabla 2-1 [3].

Fr. (Hz)	Pond. A	Fr. (Hz)	Pond. A
6	-56,7	630	-1,9
20	-50,5	800	-0,8
25	-44,7	1.000	0
31,5	-39,4	1.250	+0,6
40	-34,6	1.600	+1
50	-30,2	2.000	+1,2
63	-26,2	2.500	+1,3
80	-22,5	3.150	+1,2
100	-19,1	4.000	+1
125	-16,1	5.000	+0,5
160	-13,4	6.300	-0,1
200	-10,9	8.000	-1,1
250	-8,6	10.000	-2,5
315	-6,6	12.500	-4,3
400	-4,8	16.000	-6,6
500	-3,2	20.000	-9,3

Tabla 2-1 Tabla de ponderación A [3]

2.1.4 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava

Una fuente de ruido no se puede considerar como emisora de una sola frecuencia, sino como generadora de una combinación de ondas sonoras de distintas frecuencias a diferentes intensidades, que además varían en el tiempo.

De este modo, el espectro de un sonido es un instrumento imprescindible para la caracterización de una fuente de ruido. Este consiste en la descomposición en las distintas frecuencias que lo constituyen y en la obtención del nivel de presión sonora de cada una de ellas.

Por lo tanto, las frecuencias acústicas se agrupan en una serie de bandas que conforman la distribución espectral de un ruido y cuyos anchos están normalizados, con el fin de obtener información manejable.

Los anchos más comunes son los de **una octava y 1/3 de octava**. En las primeras se cumple que la frecuencia más alta duplica a la más baja, $f_2/f_1 = 2$. En las segundas, basadas en dividir la octava en tres partes, se cumple que $f_2/f_1 = 2^{1/3}$ y, por tanto, existe una relación constante de 1,26. A la frecuencia central de cada banda se le asigna el nivel resultante de componer todas las frecuencias

contenidas entre los límites superior e inferior de dicho intervalo. Esto se ilustra en la Figura 2-4.

Las frecuencias centrales de las diversas bandas de octava son: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000, 8.000 y 16.000 Hz. [3]

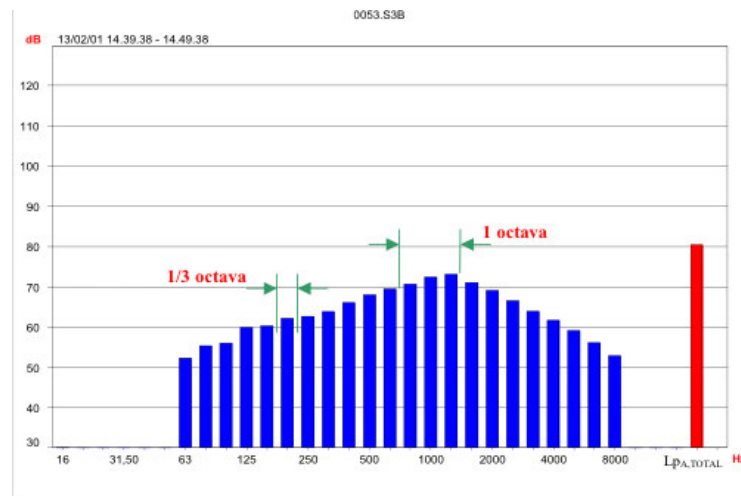


Figura 2-4 Bandas de octava [3]

2.1.5 Sonido directo y reflejado

Un receptor situado en un determinado punto de un recinto recibe de dos formas distintas la energía emitida por una fuente sonora. Una parte le llega de forma directa y otra de forma indirecta. De este modo existen dos tipologías de sonido:

- Sonido directo:** Aquel que no encuentra ningún obstáculo en su camino hacia el receptor. La energía sonora sufrirá una atenuación en su presión por la distancia recorrida y por la absorción del aire durante su recorrido desde la fuente.
- Sonido reflejado:** Aquel que percibe un oyente como consecuencia de las reflexiones que sufre la onda sonora al incidir anteriormente sobre las superficies.

Las primeras reflexiones son las que llegan inmediatamente después del sonido directo, las que llegan posteriormente son denominadas reflexiones tardías. Estas últimas forman la llamada cola reverberante. La atenuación que sufre el sonido reflejado es debido, principalmente, a la absorción de la energía acústica por las superficies y objetos del recinto.

El oído humano es capaz de integrar en una percepción todos los sonidos recibidos en un espacio de tiempo de aproximadamente 50 ms respecto al sonido directo. Por lo tanto, todas las reflexiones que alcancen al oyente dentro de este intervalo de tiempo no serán diferenciadas del sonido directo, lo que producirá un aumento del nivel sonoro. Por el contrario, aquellas reflexiones que lleguen con un retardo mayor a ese intervalo serán percibidos como repeticiones del sonido directo [3] [5].

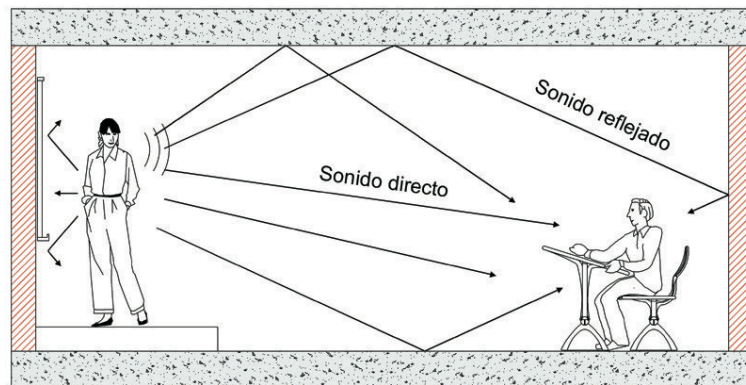


Figura 2-5 Sonido directo y reflejado [3]

La energía sonora en un punto cualquiera de un recinto es la suma de una energía de valor variable y otra de valor constante, correspondiéndose la primera con el sonido directo y la segunda con el indirecto. La zona donde predomina el sonido directo se llama zona de campo directo, y en ella el nivel de presión sonora disminuye con la distancia a la fuente sonora. La zona en la cual predomina el sonido reflejado es denominada zona de campo reverberante, en ésta el nivel de presión sonora se mantiene constante.

Mientras el campo directo incluye el sonido recién emitido por la fuente sin haber experimentado reflexiones, el campo reverberante incluye el sonido ya reflejado [2].

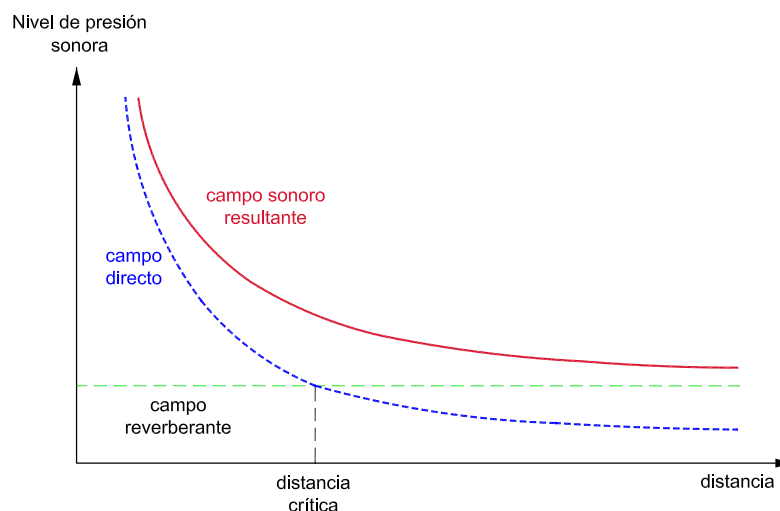


Figura 2-6 Distribución del sonido [3]

2.1.6 Aislamiento y acondicionamiento acústico

En el ámbito de la acústica en edificación se suelen estudiar dos aspectos básicos que pueden parecer similares, pero que realmente son conceptos distintos que conllevan acciones diferentes y que conviene aclarar:

- Aislamiento acústico: Por aislamiento acústico se entiende el conjunto de acciones encaminadas a reducir o evitar la transmisión de las ondas sonoras y las vibraciones de

un recinto a otro, ya sea por vía aérea o estructural. En términos físicos, la parte de la energía sonora emitida que se atenúa al ser transmitida entre un recinto emisor y otro receptor. En este caso lo que preocupa es el confort acústico del recinto receptor.

- b) **Acondicionamiento acústico:** Por acondicionamiento acústico se entiende el conjunto de acciones encaminadas a mejorar la calidad acústica dentro de un recinto emisor. Aquí se busca el control y la mejora de la propagación de las ondas sonoras en el interior del recinto y el objetivo es conseguir un ambiente apropiado para la actividad a la que esté destinado. Aquí es donde entran en juego dos aspectos técnicos que la ingeniería acústica ha de controlar: los ecos y el tiempo de reverberación.

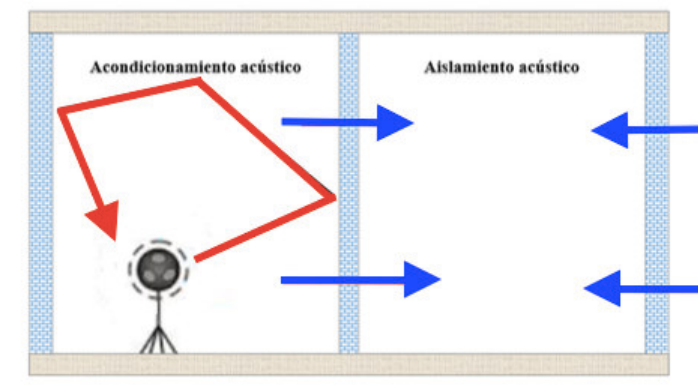


Figura 2-7 Conceptos de aislamiento y acondicionamiento acústico [4]

2.1.7 Comportamiento de los rayos acústicos al incidir en superficies

Cuando se emite un sonido y éste se propaga del recinto emisor al recinto receptor sin incidir con ningún obstáculo, solo existe atenuación debida a la pérdida de energía provocada por la distancia entre ambos y a la propia absorción del aire. Sin embargo, esto no es frecuente, ya que, normalmente, la onda sonora emitida se encontrará con obstáculos en su camino, los cuales modificarán su trayectoria. El objetivo del acondicionamiento acústico reside precisamente en controlar estas modificaciones de trayectoria.

Al incidir un rayo sonoro sobre una superficie, su energía se descompone en tres efectos que se explican a continuación:

- **Absorción:** Parte de la energía acústica incidente en una superficie es absorbida por el propio material y disipada, principalmente, en forma de energía calorífica. La absorción de una superficie varía en función de muchos factores que se explicarán en el Punto 2.1.10. [5]
- **Transmisión:** Cuando la onda incide sobre la superficie, parte de su energía la atraviesa. Esta transmisión de energía depende del aislamiento acústico del elemento constructivo sobre el que incide y es el principal efecto a combatir cuando se quiere aislar acústicamente un recinto. [5]
- **Reflexión:** La energía acústica que ni se transmite entre recintos ni se disipa por absorción es reflejada, variando su trayectoria. La reflexión sonora se comporta del mismo modo que la luz al incidir sobre un espejo, cumpliendo la Ley de Snell. El ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidencia. En un recinto cerrado este efecto puede causar un campo sonoro muy complejo y difícil de controlar, siendo la principal causa del “des-confort” acústico.

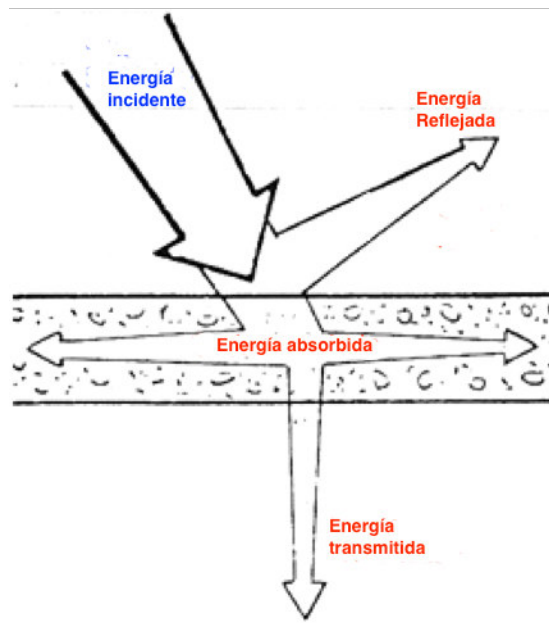


Figura 2-8 Comportamiento de rayos acústicos al incidir en superficies

Cuando se estudia la reflexión acústica dentro de un recinto, es necesario abordar los siguientes comportamientos de la onda acústica:

- a) Eco flotante: Se trata de un problema que se genera en un recinto cuando existen paredes paralelas suficientemente separadas, de tal manera que el rayo al reflejarse viene y va de una pared a otra, generando que el receptor perciba el mismo sonido en instantes de tiempo diferentes. Este sonido se percibe como un eco, que se va desvaneciendo poco a poco a medida que las paredes van absorbiendo su energía. Para evitarlo pueden adoptarse diferentes medidas: otorgar ligeras inclinaciones a una de las paredes paralelas o a ambas (del orden de 5°), mediante la colocación de paneles absorbentes, o la instalación de elementos en las paredes que formen irregularidades [6].
- b) Reflexión en superficies cóncavas: En recintos grandes como pabellones deportivos, auditorios o iglesias, resulta muy común observar techos con formas cóncavas, por ejemplo, cúpulas o bóvedas. Estas superficies pueden tener un gran efecto negativo en la calidad acústica de un recinto.

Al incidir una onda sonora sobre una superficie cóncava, la energía reflejada tiende a concentrarse en un punto del recinto. La precisión con la que el sonido se focaliza depende de la forma y tamaño relativo de la superficie. Esto supone un problema, ya que, en vez de distribuirse la presión sonora de forma homogénea en el recinto, se crean puntos dentro del mismo donde la presión sonora es mayor. Aunque la energía reflejada es menor que la emitida, al focalizarse puede ocurrir que la energía asociada a dicho sonido sea incluso mayor que la correspondiente al sonido directo [4] [6].



Figura 2-9 Focalización sonora debida a superficie cóncava

2.1.8 El tiempo de reverberación (TR)

El tiempo de reverberación (TR) es uno de los parámetros más importantes que se hade explicar cuando se pretende estudiar el confort acústico de un recinto. Para lograr comprenderlo bien, es necesario analizar, previamente, el concepto de la reverberación.

La reverberación se define como el fenómeno acústico que se produce en un recinto cuando una onda sonora incide contra las superficies interiores del mismo y se refleja en ellas. Al rebotar las ondas, se generan unos ecos que se perciben como un único sonido. Este conjunto de ecos distorsiona el sonido original y lo expande en espacio y tiempo.

Esta expansión en espacio y tiempo es la que da lugar al tiempo de reverberación (TR). Se define como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que una fuente acústica cesa de emitir hasta que el nivel de presión sonora en el recinto disminuye 60 dB con respecto al valor original. Es decir, normalmente, es el tiempo que tarda un sonido en dejar de ser perceptible para un oyente [3] [7].

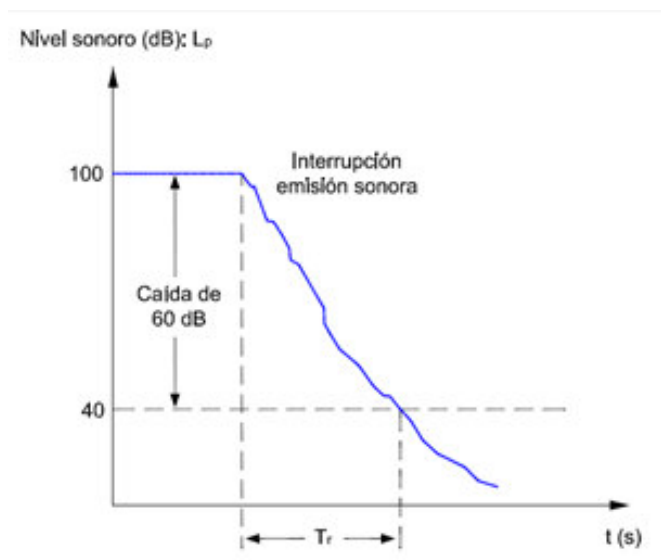


Figura 2-10 Gráfica tiempo de reverberación [3]

Los recintos con TR grandes se denominan “vivos”, mientras que aquellos que tienen un TR pequeño se denominan “apagados” o “sordos”.

El TR varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que aumenta ésta. Esto sucede, en parte, debido a las características de los materiales comúnmente empleados en los sistemas constructivos en edificación y al comportamiento del aire. Generalmente, se absorben mejor las altas frecuencias, especialmente en recintos grandes, donde la absorción del aire tiene mayor relevancia. Habitualmente, cuando se establece un único valor recomendado de TR para un recinto, se suele expresar mediante la media aritmética de los valores correspondientes a las bandas de 500, 1.000 y 2.000 Hz.

Generalmente, el valor del TR recomendado depende tanto del volumen del recinto como de la actividad a la que está destinado. Así, en una sala de conferencias son adecuados TR bajos con el fin de conseguir una buena inteligibilidad, mientras que en salas de conciertos se recomiendan valores más elevados con objeto de optimizar la audición musical.

El TR se calcula, principalmente, con la Fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{A} (s)$$

Donde V es el volumen total del recinto (en m³) y A representa la absorción total del recinto [3] [7].

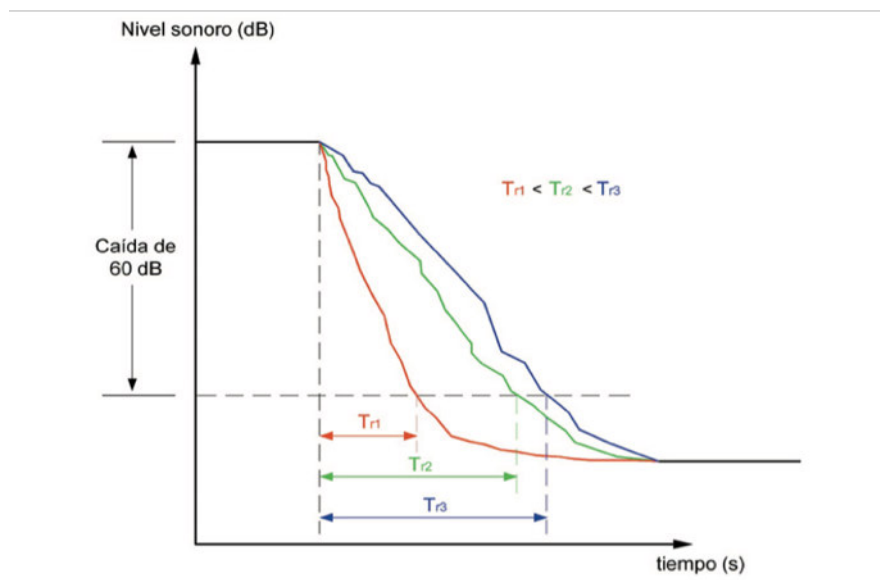


Figura 2-11 Variación del TR en función de la absorción en un determinado recinto [3]

2.1.9 Otros parámetros de calidad acústica de recintos: La inteligibilidad de la palabra

Otro modo de caracterizar la calidad acústica de un recinto de especial uso es midiendo el parámetro de “inteligibilidad de la palabra”. Este se puede calcular por medio de dos índices diferentes: la Pérdida de Articulación de Consonantes (%ALCons) y el índice de Transmisión Rápida de la Palabra (RASTI).

Las consonantes de una palabra son las unidades de menor energía, de tal modo que serán las primeras en dejar de ser percibidas en condiciones acústicas adversas, bien por exceso de ruido o de reverberación. Por ello, el índice %ALCons proporciona un valor que da idea de la pérdida de articulación de consonantes (en %) evaluada a partir de parámetros acústicos objetivos. Este parámetro se puede calcular a partir de las siguientes expresiones [4] [8]:

$$\%ALCons = \frac{200r^2T(2kHz)^2}{VQ}; (r \leq 3,16 \cdot r_h)$$

$$\%ALCons = 9 \cdot T(2kHz); (r > 3,16 \cdot r_h)$$

- r = distancia entre emisor y receptor
- Q = factor de directividad de la fuente sonora (para un locutor, Q=2)
- V= volumen de la sala (en m³)
- r_h: Distancia crítica = 0,14√QR
- T(2kHz): Tiempo de reverberación a 2kHz

%ALCons	Calificación
< 3 %	Excelente
3 % - 7 %	Buena
7 % - 15 %	Aceptable
> 15 %	Insuficiente

Tabla 2-2 Calificación de la inteligibilidad en función del índice ALCons [8]

El RASTI expresa la inteligibilidad entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima). Para la evaluación de este índice, la señal de voz se simula mediante una señal especial con características similares a la voz. Esencialmente se trata de una señal modulada en amplitud, donde la pérdida en el índice de modulación se asocia con las pérdidas de inteligibilidad. Se calcula a partir de un número reducido de frecuencias de modulación y de frecuencias portadoras: en concreto, se trabaja con los nueve valores procedentes de modular la portadora de 500 Hz con cuatro frecuencias y la de 2000 Hz con cinco [4] [8].

F ₀ (Hz)	F _m (Hz)				
500	1	2	4	8	-
2.000	0,7	1,4	2,8	5,6	11,2

Tabla 2-3 Frecuencias portadoras y de modulación (RASTI) [8]

A partir de esos nueve valores, se promedian directamente y se calcula la relación señal a ruido aparente media, aplicando la siguiente ecuación [4]:

$$\overline{(S/N)_{ap}} = \frac{\sum_{F_0, F_m} (S/N)_{ap}(F_0, F_m)}{9}$$

RASTI	Calificación
0,6 - 1	Excelente
0,45 - 0,6	Buena
0,3 – 0,45	Aceptable
0 – 0,3	Insuficiente

Tabla 2-4 Calificación de la inteligibilidad en función del índice RASTI [8]

2.1.10 Absorción acústica y sus mecanismos

La clave para conseguir un buen confort acústico en un recinto reside en controlar la absorción del sonido dentro del mismo. Esta se debe mayoritariamente a la presencia de materiales absorbentes dentro del recinto y consiste en la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto por su propagación a través del aire como cuando inciden sobre una superficie constructiva. Las propiedades de absorción de un material se evalúan por medio del coeficiente de absorción (α):

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

α representa la relación entre la energía absorbida (E_a) y la energía incidente (E_i) sobre el material por unidad de superficie. Puede tomar valores entre 0 y 1, significando un mayor valor un nivel de absorción mayor. Así, los materiales utilizados comúnmente en edificación (construcción de paredes y techos) de un recinto son, por norma general, muy rígidos y con poca porosidad, lo que se traduce en una absorción del sonido casi nula. Por otra parte, la absorción producida por el aire solamente es significativa en recintos con un gran volumen, a frecuencias altas ($\geq 2\text{kHz}$) y porcentajes bajos de humedad relativa (10-30%).

Para un material dado, el coeficiente de absorción acústica depende, en gran medida, de la frecuencia del sonido incidente, tendiendo a aumentar al hacerlo ésta. Así, los materiales absorbentes porosos no absorben por igual todas las frecuencias, sino que poseen mayor eficacia para las altas frecuencias que para las bajas. Por ello, los valores del coeficiente de absorción de un material se especifican para cada una de las frecuencias normalizadas de las bandas de octava o de 1/3 de octava:

$$\alpha_{125}, \alpha_{250}, \alpha_{500}, \alpha_{1000}, \alpha_{2000} \dots$$

Donde cada subíndice representa la frecuencia del sonido incidente y α el coeficiente de absorción a esa frecuencia.

Además, para poder comparar de forma rápida diferentes materiales absorbentes, existen índices que permiten caracterizar su capacidad de absorción mediante un único valor. Uno de ellos es el coeficiente de absorción medio (α_m), que se obtiene a partir de los valores de una curva de referencia normalizada a 500 Hz respecto a la curva de los coeficientes de absorción del material.

A pesar de todo, se deben adoptar precauciones para caracterizar materiales absorbentes mediante tales parámetros globales, ya que materiales con valores similares podrían poseer comportamientos diferentes en función de la frecuencia. Por ello, han de seleccionarse aquellos que posean elevados coeficientes de absorción para las frecuencias problemáticas [3] [4].

Conseguir un buen confort acústico por medio de la absorción depende de muchos factores, entre ellos las dimensiones del recinto en el que se busca mejorar el confort, los materiales que se van a usar y sus propiedades o incluso el tipo de absorción que se va a emplear para conseguirlo. A continuación, se explican aspectos cruciales en cuanto a la absorción acústica y sus mecanismos.

Existen dos tipologías de absorción debida a los sistemas constructivos: absorción por porosidad y absorción por resonancia.

2.1.10.1 Absorción por porosidad

El mecanismo de absorción de los materiales porosos radica en transformar la energía acústica, principalmente, en energía calorífica por medio de procesos de fricción interna. Es decir, poseen la capacidad de disminuir la cantidad de energía reflejada. Para desempeñar la labor absorbente, estos materiales han de ser blandos, ligeros fibrosos y porosos. La porosidad resulta un factor condicionante para la absorción, ya que ésta tiene lugar cuando un importante porcentaje de la onda acústica incidente penetra en los poros e induce en las partículas de aire contenidas en ellos un movimiento vibratorio que, debido a la fricción generada por iteración con las paredes internas de las cavidades, provoca que la energía acústica se disipe en forma de energía calorífica [3].

A continuación se describen los diferentes factores condicionantes de la absorción por porosidad:

- a) Efecto del espesor del material absorbente: Parece lógico suponer que un material más grueso absorberá una cantidad mayor de sonido que uno más fino. Esto es cierto, sin embargo, se cumple principalmente para absorción a medias y bajas frecuencias. Es preciso mencionar que la absorción es baja para todas las frecuencias para las que se cumple que el espesor del material absorbente es mucho menor que la longitud de onda λ del sonido que incide sobre él. Esto se explica de la siguiente manera: La velocidad de las partículas de aire es máxima a una distancia de $\lambda/4$ de la pared y mínima justo en sus inmediaciones, ya que la pared rígida obliga a que no se muevan. A medida que la frecuencia aumenta, disminuye λ , por lo tanto, el espesor del material absorbente será cada vez más grande en comparación con λ . Esto significa que la velocidad de las partículas de aire dentro del material aumentará y la energía disipada en forma de calor será mayor antes de incidir sobre la pared rígida [4] [6].

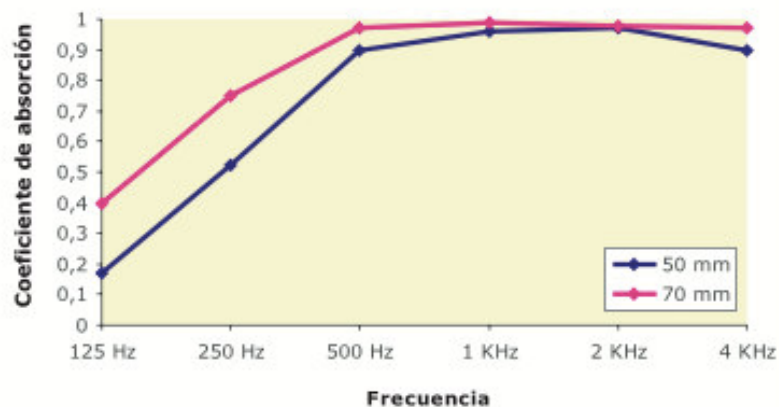


Figura 2-12 Variabilidad de la absorción de un determinado material poroso en función de su espesor [3]

- b) Efecto de la separación entre el material absorbente y la pared: Otra manera efectiva de conseguir absorción a bajas frecuencias es separando el material absorbente de la pared rígida. La principal ventaja que presenta esto es que no es imprescindible hacer uso de materiales muy gruesos. La clave reside en colocarlo a la distancia adecuada de la pared. Como hemos visto anteriormente, la amplitud de

la velocidad de las partículas de aire es máxima a una distancia de $\lambda/4$ de la pared rígida. Con lo cual, la máxima absorción se producirá a aquella frecuencia para la cual la distancia entre el absorbente y la pared coincide con $\lambda/4$. A mayor distancia entre absorbente y pared, menor será la frecuencia a la que la absorción es máxima [4] [6].

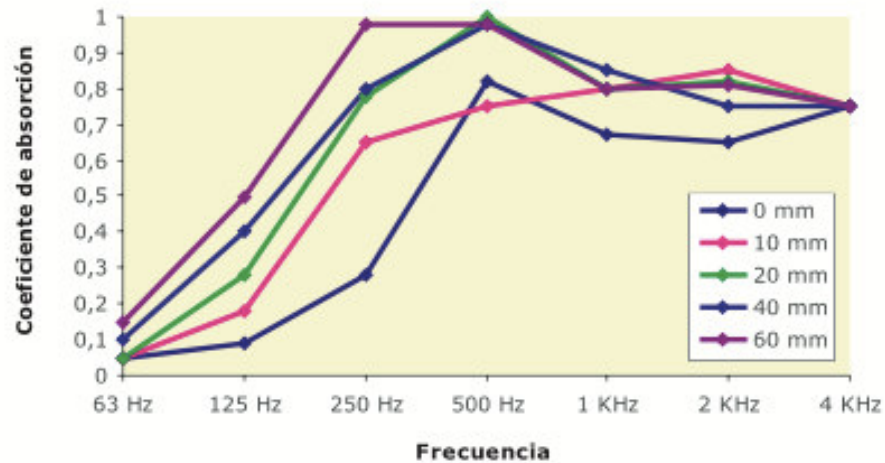


Figura 2-13 Variabilidad de la absorción de un determinado material poroso en función de su distancia a la superficie de obra [3]

- c) Efecto de la densidad del material absorbente: Generalmente, el sonido es capaz de penetrar los intersticios tanto de materiales duros y de gran densidad, como materiales de naturaleza más blanda. Si la densidad es baja, la absorción es pequeña porque existen pocas pérdidas por fricción. Si por el contrario la densidad es muy elevada, habrá una menor penetración de la onda sonora en el material y también se originará poca absorción. Resulta aconsejable que los materiales absorbentes destinados al acondicionamiento de recintos tengan una densidad entre 40 y 70 Kg/m³ [4] [6].
- d) Absorción acústica en función del grado de porosidad: Al igual que el espesor o la densidad, la porosidad de un material tiene un gran efecto en su absorción acústica. De este modo, al aumentar su porosidad también aumenta la absorción a todas las frecuencias.

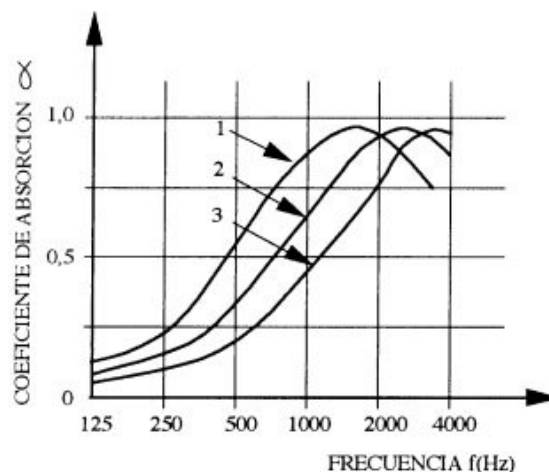


Figura 2-14 Variación de la absorción en función de la frecuencia de un material con distintos grados de porosidad. (1-porosidad alta, 2-porosidad media, 3-porosidad baja) [4]

El uso de materiales porosos es el método más comúnmente usado a la hora de recubrir superficies con el fin de mejorar la calidad acústica de un recinto. El elemento más popular en este sentido es el techo acústico, montajes de falsos techos constituidos de placas de algún material perforado sobre el que se coloca una capa de lana mineral. Aunque, cada vez se están haciendo más populares otros métodos más innovadores e igual de efectivos. A continuación, se describen diferentes métodos reales de absorción por porosidad:

- Falsos techos acústicos: de forma general se pueden destacar tres tipos de techos con estas características. La primera es la instalación de placas de yeso laminado con un alto porcentaje de perforación sobre el que se coloca una capa de 20-60 mm de espesor, de lana mineral (lana de vidrio o lana de roca de 50-70 Kg/m³ de densidad). Entre las placas de yeso laminado y el techo de obra se deja una cámara de aire o plenum de unos 10 a 30 cm [8].



Figura 2-15 Falso techo acústico de yeso laminado perforado [8]

Otra opción de techo absorbente consiste en la instalación de placas de “*celenit*” de 25 mm de espesor, un material fabricado a base de fibras de madera unidas a presión con aglomerado de cemento. En este caso se deja un plenum de 10 a 40 cm y se instala una capa de 40 mm de lana mineral [8].



Figura 2-16 Falso techo acústico fibras de madera aglomeradas [8]

Como último ejemplo de techo acústico reflejamos la instalación de tableros de madera perforada. Este método se basa en ejecutar tableros de 13 mm de espesor, con alrededor del 25% de perforación, dejando un plenum de 10 a 20 cm. En la parte superior de los tableros se instala una capa de 40 mm de lana mineral.



Figura 2-17 Falso techo de madera perforada [8]

Los techos acústicos indicados poseen coeficientes de absorción medios, según fabricantes, de entre 0,81 y 0,96.

- Materiales absorbentes suspendidos del techo: En determinados casos, no existe en los recintos superficie de paramentos disponible suficiente para el montaje de un techo acústico “convencional”, o bien es necesario aumentar la superficie de absorción. En estas circunstancias se suele recurrir a materiales absorbentes suspendidos del techo (baffles). Los baffles se suelen usar en recintos de medias o grandes dimensiones como comedores, fábricas o recintos deportivos. El material del que están compuestos los baffles es, o bien, lana mineral revestida con algún material textil ignifugado y permeable al sonido, o espuma de resina de melanina. Los baffles aportan un coeficiente de absorción acústica media de entre 0,6 y 0,97, dependiendo del material del que están compuestos. Además, poseen varias ventajas con respecto a techos acústicos. En cuanto al montaje, resulta mucho más sencillo y flexible, ya que se pueden instalar donde mejor convenga; además, en cuanto a la estética, los encontramos de cualquier forma y color [4] [8].



Figura 2-18 Techo con baffles fonoabsorbentes [9]

2.1.10.2 Absorción acústica por resonancia

Como se ha visto en puntos anteriores, el problema en cuanto a la absorción de sonido suele residir en la capacidad de poder tratar las bajas frecuencias. Si bien es cierto que aumentando el espesor de la capa absorbente o separándola de la pared se mejora este aspecto, si se pretende mejorar, de forma

sustancial, este aspecto, resulta aconsejable hacer uso de absorbentes por resonancia (resonadores). Son elementos que presentan una curva de absorción con un valor máximo a una determinada frecuencia, la cual recibe el nombre de “frecuencia de resonancia” y suele estar situada por debajo de los 500 Hz. A continuación, se describen los absorbentes resonadores más comunes y su funcionamiento [4].

- a) Resonador de membrana: Se trata de un panel de material poroso y no flexible, como madera, colocado a una cierta distancia de la pared rígida. De este modo se crea una cavidad cerrada de aire entre las dos superficies. Al incidir una onda sonora sobre el panel, éste comienza a vibrar. La amplitud depende principalmente de la frecuencia del sonido incidente y es máxima para la frecuencia de resonancia. En la cavidad, el aire se comporta como un muelle, aumentando su rigidez a medida que disminuye la distancia entre resonador y pared durante la vibración. Esa rigidez del aire junto con la masa del panel constituye el sistema resonante. En la práctica se suele rellenar la cavidad de aire con un material absorbente poroso, por ejemplo, lana mineral, con el fin de aumentar la absorción [4].
- b) Resonador Helmholtz simple: Está formado por una cavidad de aire cerrada conectada al interior del recinto por una pequeña abertura o cuello. A lo largo del cuello el aire se mueve como una unidad, constituyendo el elemento de masa. El aire dentro de la cavidad se comporta como un muelle, y constituye el elemento de rigidez. Igual que en el resonador de membrana, ambos elementos juntos dan lugar a un sistema resonante que presenta su máxima absorción posible a la frecuencia de resonancia. De forma análoga al anterior, aquí también resulta usual rellenar la cavidad con un material absorbente poroso. En la práctica no es habitual el uso de un resonador individual, con lo que se suele utilizar una agrupación de resonadores simples, con el fin de aumentar la superficie absorbente [4].
- c) Resonador Helmholtz múltiple: El resonador múltiple se diferencia del simple en que en este no se abren cavidades en la propia pared rígida, si no que se coloca un panel perforado a una cierta distancia de la pared. El panel es de un material no poroso y rígido, como puede ser la madera, el cartón-yeso o el ladrillo. El fin es crear una cavidad cerrada de aire entre el panel y la pared. Este tipo de resonador puede ser considerado de dos maneras diferentes: Como un resonador de membrana en el que la masa del panel es sustituida por el aire contenido en cada perforación. En este caso, sería precisamente este aire el que entra en vibración, y no el panel. La otra opción es verlo como un conjunto de resonadores Helmholtz simples que comparten una misma cavidad. Al igual que en los dos casos anteriores, se suele rellenar la cavidad con un material absorbente poroso [4].

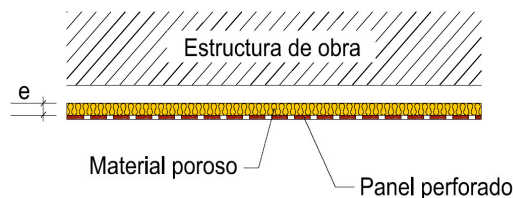


Figura 2-19 Combinación de absorción acústica por resonancia y por porosidad [3]

2.2 Acústica en recintos destinados al uso de Piscinas cubiertas

2.2.1 Problemática del ruido

Las piscinas se construyen con un fin específico, de manera que resulta difícil conseguir un buen confort acústico dentro de sus recintos. Normalmente se valoran más otros aspectos del confort, como obtener una buena visión de la competición o poseer un adecuado acceso a las butacas. Además, las soluciones acústicas no suelen convertirse en una prioridad a la hora de construir dichos recintos y las mejoras acústicas se suelen ejecutar a posteriori, teniendo que lidiar con problemas funcionales y climatológicos. Una vez finalizada una obra constructiva, la instalación de dichas soluciones no es siempre fácil, teniendo, por otra parte, que considerar que los materiales usados han de resistir bien la humedad.

Existen tres problemas principales de ruido en piscinas cubiertas: el público, los bañistas y la megafonía. Todos ellos son fuentes sonoras irregulares, que se ven fortalecidos por los efectos de reverberación. Las ondas sonoras generadas “rebotan” en las superficies lisas y rígidas y se pueden generar tiempos de reverberación de hasta 8 segundos. Frecuentemente, se diseñan piscinas con formas de techo cóncavas, que producen focalizaciones; es decir, como se ha explicado, diferentes niveles de potencia sonora en distintos puntos del recinto. Estos factores multiplican los efectos del ruido y provocan deficiente inteligibilidad de la palabra. Pueden incluso alcanzar niveles de presión sonora nocivos para el oído humano.

2.2.2 Normativa y criterio de calidad adecuado

En lo que a normativa se refiere, resulta necesario fijarse en dos documentos para la realización del presente trabajo: El Documento Básico DB-HR “*Protección frente al ruido*”, perteneciente al Código Técnico de la Edificación, y la Normativa sobre Instalaciones Deportivas y de Esparcimiento (NIDE) 3, “*Normas de Proyectos Piscinas*”, redactada por el Consejo Superior de Deportes. Cabe mencionar que la piscina de la ENM no tiene obligación de cumplir los requisitos de ninguno de los documentos. No obstante, si servirán como referencia para definir un criterio de calidad para ésta en la realización del presente trabajo.

2.2.2.1 El Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido

El Documento Básico DB-HR “*Protección frente al ruido*”, perteneciente al Código Técnico de la Edificación (CTE), es de obligado cumplimiento desde el día 24 de abril de 2009.

Este Documento Básico establece los procedimientos y reglas que garanticen el cumplimiento de las exigencias básicas de protección frente al ruido en edificación. En el artículo 14 de la Parte I del CTE se describe el objetivo del requisito básico “*Protección frente al ruido*”, así como las exigencias básicas del mismo:

“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.

El Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido” especifica parámetros objetivos y sistemas de verificación cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido” [10].

En el artículo 2, Parte I, se establece el ámbito de aplicación del Documento Básico, donde se exceptúan los siguientes casos:

- a) *Los recintos ruidosos, que se regirán por su reglamentación específica.*
- b) *Los recintos y edificios de pública concurrencia destinados a espectáculos, tales como auditorios, salas de música, teatros, cines, etc., que serán objeto de estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico, y se considerarán recintos de actividad respecto a las unidades de uso colindantes a efectos de aislamiento acústico.*
- c) *Las aulas y las salas de conferencia cuyo volumen sea mayor de 350 m³, que serán objeto de un estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico, y se considerarán recintos protegidos respecto de otros recintos y del exterior a efectos de aislamiento acústico.*
- 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 [10].*

Por tanto, como se comprueba en los puntos c) y d), el recinto de la piscina de la ENM queda excluida del ámbito de aplicación por tener un volumen superior a 350 m³ y por tratarse de una obra de modificación y rehabilitación no integral.

2.2.2.2 NIDE 3, Normas de Proyectos Piscinas

Las normas NIDE, elaboradas por el Consejo Superior de Deportes, Organismo autónomo dependiente del Ministerio de Educación Cultura y Deporte, tienen como objetivo definir las condiciones reglamentarias, de planificación y de diseño que deben considerarse en el proyecto y construcción de instalaciones deportivas. Existen cuatro normas NIDE, de las cuales la tercera aborda la temática de las piscinas, tanto al aire libre como cubiertas.

Dentro del documento “*Condiciones de Diseño. Características y Funcionalidad de Piscinas Cubiertas*”, perteneciente a esta Norma, se establecen entre otros aspectos las condiciones acústicas que han de cumplir las piscinas cubiertas:

“La acústica del recinto de piscinas evitará la existencia de ecos y ruidos, el coeficiente de reverberación será inferior o igual a los siguientes valores según el volumen de la pista:

<i>ACÚSTICA PISCINAS CUBIERTAS</i>	
<i>Volumen</i>	<i>Tiempo de reverberación</i>
$< 2000 \text{ m}^3$	$1,1 \text{ s}$
$2000 \text{ m}^3 - 5000 \text{ m}^3$	$1,2 \text{ s}$
$5000 \text{ m}^3 - 7000 \text{ m}^3$	$1,4 \text{ s}$
$7000 \text{ m}^3 - 9000 \text{ m}^3$	$1,5 \text{ s}$
$> 9000 \text{ m}^3$	$1,6 \text{ s}$

Tabla 2-5 Exigencias de TR según el Volumen del Recinto [1]

Para conseguir estos valores se dispondrán paramentos y techos absorbentes del sonido que cumplirán el resto de características. Se dispondrá el aislamiento acústico necesario para impedir las emisiones de ruido al exterior o a otras zonas de la instalación deportiva, de acuerdo con la Normativa vigente de Condiciones Acústicas de los edificios” [1].

En el Punto 1 de esta Norma de Proyecto se establece el objeto y ámbito de aplicación de la misma, exceptuándose los siguientes casos:

“las instalaciones deportivas al aire libre, útiles para la práctica de los deportes o actividades citados.

Quedan asimismo fuera del ámbito de esta Norma de Proyecto, tanto las **Piscinas cubiertas de carácter privado (destinadas al uso particular de una familia y de sus amistades) como las de carácter semipúblico (dedicada al servicio exclusivo de urbanizaciones y comunidades de propietarios)”** [1].

Por tanto, la piscina de la ENM, al poseer carácter semipúblico y no tratarse de un proyecto por ejecutar, sino de un edificio ya construido, queda excluida del ámbito de aplicación de esta Norma. No obstante, resultaría aconsejable adoptar el valor de tiempo de reverberación sugerido por ella como referencia para las propuestas de mejora del recinto de la piscina de la ENM, pues garantizaría el máximo confort acústico posible.

2.2.3 Casos prácticos analizados

Con el fin de abordar adecuadamente la problemática en esta materia, y cómo evitarla, se va a proceder a la presentación y descripción de varios casos prácticos. Se analizará el acondicionamiento acústico de recintos similares al de la piscina de la ENM y se focalizará la atención en los métodos y materiales con que se realizó todo el proceso. Entre estos recintos se encuentran tanto una piscina cubierta como un polideportivo, ya que la problemática y el objetivo son muy similares.

2.2.3.1 Polideportivo del Campus Norte de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España)

Se trata de un recinto con un volumen de 19.000 m³ y pista de planta rectangular de 48 m de longitud y 30 m de ancho. En los laterales posee dos pisos para espectadores.

Como objetivos acústicos de mejora se propuso la reducción del tiempo de reverberación a un valor de entre 1,5 y 2 segundos, al igual que la eliminación de ecos y focalizaciones del sonido.

○ Materiales utilizados como acabados del recinto:

- Techo: chapa metálica perforada con cavidad de aire en su parte superior rellena de material absorbente.
- Paredes fondo (< 2,5 m de altura): listones de madera separados 1 cm, con absorbente en su parte posterior (aproximadamente 5% de superficie abierta).
- Paredes fondo (> 2,5 m de altura): tablero perforado de madera de 1 cm de espesor dispuesto sobre rastreles, con material absorbente en su parte posterior.
- Paredes laterales: tablero de madera sin perforar de 1 cm de espesor dispuesto sobre rastreles, sin absorbente en su parte posterior.
- Paredes, pisos y techo primer piso: hormigón visto.
- Techo segundo piso: viruta de madera aglomerada con magnésita.
- Barandillas pisos: tablero de madera sin perforar.
- Ventana en pared del fondo: cristal inclinado 5°.
- Suelo pista: parquet de 24 mm montado sobre rastreles.

○ Resultados obtenidos y valoración acústica:

Los resultados de TR finales se obtuvieron por medio de medidas in situ, que aportaron un tiempo de reverberación con la sala vacía de 2,71 segundos, lo cual no cumple los requisitos establecidos. Sin embargo, tras realizar una simulación informática para estimar el tiempo de reverberación con la sala ocupada, se obtuvo un valor de 1,70 segundos, el cual si está dentro de los márgenes recomendados. Por lo tanto, el confort acústico conseguido mediante la aplicación de los materiales indicados es satisfactorio.

En cuanto al análisis de ecos y focalizaciones, se observó la existencia de una reflexión sobre los listones de madera colocados sobre las paredes de los fondos del recinto (< 2,5 m) que provocaba un retardo de 240 milisegundos respecto al sonido directo. Esta reflexión era percibida en forma de ligero eco.

Se aprecia, estudiando este ejemplo, que, además de la acústica, en este caso concreto, se buscaba también mantener una buena estética en el recinto, haciendo uso principalmente de métodos de absorción con madera. Esto provocó que la mejora del confort acústico se viera algo perjudicada, sobre todo con el recinto vacío [4].

2.2.3.2 Piscina cubierta pública de Monthérly (Francia)

Este recinto cuenta con tres piscinas, una de 25 m de largo, otra de 8 x 15 m y una tercera de 8 x 6 m. La problemática residía en un tiempo de reverberación de 4,2 segundos, producido por los ecos existentes en el recinto. Al llenarse el recinto de gente, posee un aforo de 350 personas, el ruido resultaba sumamente incómodo.

El objetivo de este proyecto de mejora consistió en reducir el tiempo de reverberación de 4,2 a 1,5 segundos, usando un método que resultó fácil y rápido de instalar, al igual que estéticamente atractivo. El techo de cristal en bóveda debía mantenerse visible después de la instalación del sistema acústico.

○ Materiales utilizados como acabados del recinto:

El sistema acústico ejecutado fue la instalación de cables de hierro que se fijaron de forma horizontal justo debajo del techo de cristal. Posteriormente se recubrieron los cables con 1.080 baffles absorbentes cilíndricos de 1.200 mm de largo 150 mm de diámetro con una barra de aluminio central cada uno. El material base absorbente de los baffles es espuma de resina de melamina.

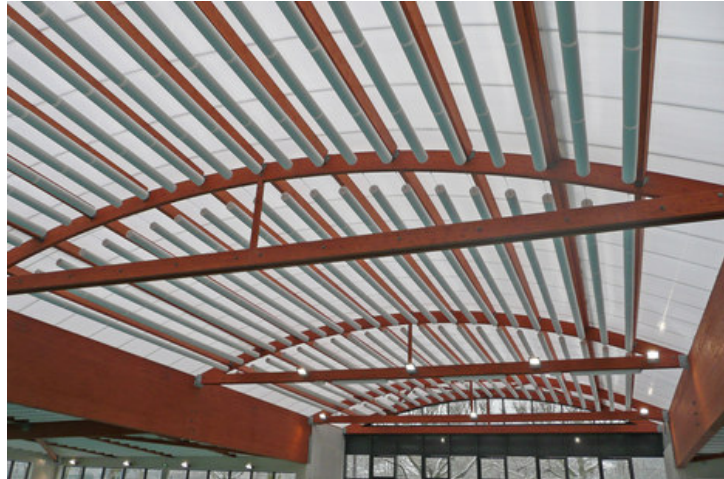


Figura 2-20 Techo con baffles acústicos de la piscina cubierta pública de Monthérly [9]

○ Resultados obtenidos y valoración acústica:

En este caso, los resultados aportaron unos valores más que satisfactorios, ya que se obtuvo un tiempo de reverberación final de 1,3 segundos, lo cual fue mejor que lo esperado y, al mismo tiempo, se consiguió mantener el aspecto agradable estéticamente del recinto [9] [11].

3 CASO DE ESTUDIO: PISCINA DE LA ENM

3.1 Descripción del recinto

El recinto sobre el que ha focalizado la atención el presente trabajo se encuentra dentro del pabellón deportivo “Gimnasio GM Barrutia” perteneciente a la ENM. Su principal función reside en la preparación de los alumnos para la prueba de 50 m libres de piscina, así como la realización de entrenamientos de natación para los equipos de natación, triatlón y pentatlón naval y militar. Además, en el recinto se realizan, regularmente, competiciones de diversa índole, en las que participan tanto alumnos de la ENM como personal civil.

Se trata de un recinto con un volumen total de 8.300 m^3 . Una planta de 41,5 m de largo por 25,1 m de ancho. El techo del recinto se ejecutó en su mayoría en forma de bóveda, con una superficie de 928 m^2 , cuyo punto más alto se encuentra a 9,2 m de la superficie de la piscina y su punto más bajo a 6,3 m del suelo. La única superficie del techo que no abarca la bóveda es la que se encuentra justo encima de las gradas laterales del recinto.

El recinto cuenta con gradas a ambos lados y a lo largo, y con una terraza interior para espectadores que ocupa todo el ancho en la parte anterior de éste.

La piscina posee unas dimensiones de 33,33 m y 16 m, y se encuentra situada en el centro del recinto, ocupando la mayor parte de la superficie de la planta.

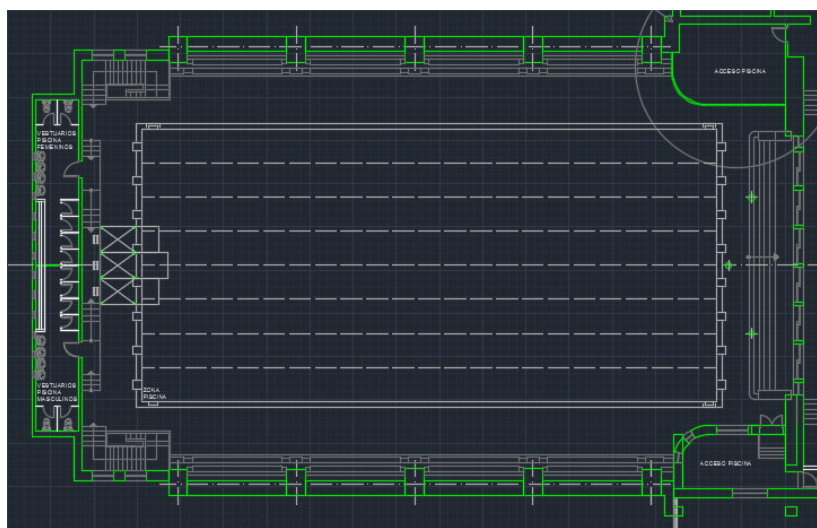


Figura 3-1 Planta Recinto Piscina ENM (Proporcionada por la Oficina de Mantenimiento de la ENM)



Figura 3-2 Vista parte posterior del Recinto



Figura 3-3 Vista parte anterior del Recinto



Figura 3-4 Vista lateral del Recinto

En relación con las propiedades que condicionan la acústica del recinto, resulta decisivo resaltar que los diferentes elementos superficiales que lo conforman están ejecutados por los siguientes materiales de acabado:

- a) La planta se conforma por la superficie de agua de la piscina, un suelo de baldosas que rodea a ésta y el terrazo del que están construidas las gradas.



Figura 3-5 Suelo y Piscina del Recinto



Figura 3-6 Suelo de Baldosas del Recinto



Figura 3-7 Gradas de Terrazo del Recinto

- b) La pared anterior posee como base de acabado el enlucido de yeso, pero cuenta además con dos grandes ventanales.



Figura 3-8 Pared anterior del Recinto



Figura 3-9 Ventana de Vidrio y Pared de enlucido de yeso del Recinto

- c) La pared posterior está cubierta por baldosas y posee un ventanal que ocupa su mitad superior.



Figura 3-10 Pared de Baldosas del Recinto

- d) Ambas paredes laterales son idénticas. El material de acabado es, en su mayoría, enlucido de yeso. Cuentan con varios ventanales y una superficie de baldosas que cubre la parte baja de la pared.



Figura 3-11 Pared lateral del Recinto

- e) El material de acabado del techo, tanto la bóveda como los laterales, se conforma en su totalidad por enlucido de yeso.



Figura 3-12 Techo del Recinto

En la Tabla 3-1 se muestran las áreas (m²) de los respectivos acabados, en cada superficie, indicados anteriormente:

Elemento	Acabado	Área (m²)
Suelo	Agua	533,28
	Baldosas	309,37
	Terrazo	199,00
Techo	Enlucido de yeso	1087,30
Paramentos	Enlucido de yeso	391,90
	Baldosas	332,10
	Vidrio	228,19

Tabla 3-1 Áreas de los acabados del recinto

3.2 Caracterización del comportamiento acústico actual del recinto

El recinto que alberga la piscina de la ENM posee un tratamiento interior más bien “espartano”, desde el punto de vista de absorción acústica, pues los materiales de acabado que componen sus superficies son todos ellos rígidos y de capacidad de absorción muy reducida. Esto, junto con sus grandes dimensiones y techo abovedado son los causantes de la mala acústica que existe en él.

En este punto del presente trabajo se realiza la predicción del tiempo de reverberación del recinto en las condiciones actuales, realizando en primer lugar una estimación utilizando la ficha K.3 recogida en el DB-HR “*Protección frente al ruido*” del CTE. En segundo lugar, se ha realizado una simulación mediante el software de estudio acústico *I-Simpa*.

3.2.1 Predicción del TR mediante el método de cálculo general del DB-HR

Para la caracterización acústica del recinto se ha realizado un cálculo predictivo del tiempo de reverberación, así como de la absorción acústica, haciendo uso del método de cálculo general.

Conviene indicar que este método está orientado por cuestiones de ámbito de aplicación del Código Técnico de la Edificación para recintos con un volumen no mayor de 350 m³, pues se considera que para recintos en los que exige valores de TR máximos, como aulas o salas de conferencias, de mayor volumen se han de considerar, para diseñar sus características acústicas, otros parámetros además del TR. Se trata de un método de cálculo de TR, en el que no se tienen en cuenta aspectos geométricos del recinto que puedan afectar a la acústica de recintos destinados a la palabra, por ejemplo, bóvedas o superficies inclinadas, sino únicamente los materiales de acabado del recinto.

Así, en edificación, salas de hasta 350 m³ tienen generalmente geometrías simples y formas paralelepípedas. Esto no quiere decir que la ficha aportada por el DB-HR “*Protección frente al ruido*” no sea válida para recintos mayores, ya que el cálculo del TR se realiza del mismo modo independientemente del volumen del recinto. No obstante, y debido a la posible existencia de geometrías complejas, este documento exige que “*Las aulas y las salas de conferencia cuyo volumen sea mayor de 350 m³ sean objeto de un estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico*” [10].

Elemento	Acabado	Área (m ²)	α_m
Suelo	Agua	533,28	0,01
	Baldosas	309,37	0,02
	Terrazo	199,00	0,02
Techo	Enlucido de yeso	1087,30	0,01
Paramentos	Enlucido de yeso	391,90	0,01
	Baldosas	332,10	0,02
	Vidrio	228,19	0,04

Tabla 3-2 Coeficientes de absorción acústica de las diferentes superficies del recinto de la piscina de la ENM [10]

Como criterio de calidad, se ha decidido aplicar el exigido por la norma NIDE 3: “*Normas Proyectos Piscinas*”, del Consejo Superior de Deportes. Al poseer el recinto un volumen de 8.300 m³, el TR exigido sería de 1,5 segundos, como se aprecia en la Tabla 3-3 de la misma norma:

ACÚSTICA PISCINAS CUBIERTAS	
Volumen	Tiempo de reverberación
< 2000 m ³	1,1 s
2000 m ³ - 5000 m ³	1,2 s
5000 m ³ - 7000 m ³	1,4 s
7000 m ³ - 9000 m ³	1,5 s
> 9000 m ³	1,6 s

Tabla 3-3 TR deseado para el Recinto [1]

La expresión usada por el DB-HR “*Protección frente al ruido*” para estimar el tiempo de reverberación dentro de un recinto es la fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{A}$$

Donde V representa el volumen total del recinto (m³) y A la absorción acústica total del mismo (m²). La predicción de la absorción acústica total del recinto se realiza mediante una expresión que contempla tres sumandos.

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{0,m,j} + 4m_m V$$

- $\alpha_{m,i}$ = Coeficiente de absorción acústica medio de cada parámetro, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz.
- S_i = Área del paramento, cuyo coeficiente de absorción es α_i (m²).
- $A_{0,m,j}$ = Área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente (m²) [10].

Al considerar que el recinto de la piscina de la ENM carece de mobiliario con características absorbentes, el segundo sumando lo despreciaremos en nuestro cálculo.

A continuación, se reflejan los cálculos mediante la ficha que aporta el DB-HR para justificar el cumplimiento de las exigencias del tiempo de reverberación en recintos de proyectos dentro del ámbito de aplicación. Esta ficha no incluye el cálculo de la absorción acústica para cada frecuencia, simplificando el proceso mediante la obtención de la absorción acústica media de cada paramento. Además, como se ha explicado anteriormente, el cálculo tampoco tiene en cuenta la forma abovedada del techo del recinto, sino solamente los acabados y materiales de las diferentes superficies del mismo.

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>						Volumen, V (m ³):	8.300
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α_m Coeficiente de absorción acústica medio				α_m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α_m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	1087,3	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	391,9	0,01	0,01	0,02	0,01	3,91
	<i>Baldosas</i>	332,1	0,01	0,02	0,02	0,02	6,64
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							$\Sigma = 46,05$
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m ²)				$A_{o,m} \cdot N$	
		500	1000	2000	α_m		
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)					$4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$	
	500	1000	2000	α_m			
							199,2
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante	$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$					245,25	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante	$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					5,41	
Absorción acústica resultante de la zona común			Absorción acústica exigida				
A (m ²) = <input type="text"/>			≥ <input type="text"/> = 0,2·V				
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido				
T (s) = <input type="text" value="5,41"/>			≠ <input type="text" value="1,5"/>				

Observando los resultados obtenidos, se puede concluir que, haciendo uso de la ficha de cálculo aportada por el DB-HR del CTE, el recinto de la piscina cubierta de la ENM, con los acabados superficiales existentes actualmente, no cumple las exigencias establecidas por el Consejo Superior de Deportes para piscinas cubiertas de igual volumen y de carácter público, pues se obtiene un tiempo de reverberación muy superior a 1,5 segundos (considerado criterio de calidad).

3.2.2 Simulación del TR mediante software I-Simpa

El propósito de la simulación del TR mediante software es el de obtener un valor que pueda ser comparado con el obtenido en el Punto 3.2.1. Se realizará una simulación que, a diferencia de la ficha del DB-HR, sí tendrá en cuenta el efecto de la bóveda y de las superficies paralelas del recinto.

Existen tres interfaces para la realización de simulaciones acústicas de recintos en software: *Acústica de Presiones*, *Acústica de Rayos* y *Ecuación de Difusión Acústica*. El uso de cada una de estas interfaces es apropiado dependiendo de las frecuencias a estudiar, o, concretamente, dependiendo de la longitud de onda en comparación con las características geométricas del recinto en cuestión. Además, cada una permite modificar distintos parámetros de simulación y tiene en cuenta la propagación de los rayos acústicos de forma diferente. Así, mientras que *Ecuación de Difusión Acústica* no considera el sonido directo, *Acústica de Rayos* proporciona una imagen más detallada, incluyendo tanto el sonido directo como el reflejado. Ambas interfaces se recomiendan para el estudio

de reverberaciones dentro de un recinto. Por otro lado, *Acústica de Presiones* es recomendado para el estudio de recintos, donde las ondas estacionarias son más relevantes que la reverberación, y las frecuencias menores de 1000 Hz.

Por lo tanto, para el presente trabajo, la elección se situaba entre la *Acústica de Rayos* y la *Ecuación de Difusión Acústica*. Al final, se ha optado por el programa *I-Simpa*, con interfaz de *Ecuación de Difusión Acústica*, ya que éste permite asignar propiedades a los materiales, al igual que asignar niveles de presión a las bandas de frecuencia de las fuentes sonoras, lo cual es fundamental para el presente trabajo. Además, como se ha mencionado antes, tiene en cuenta tanto el campo directo como el reflejado a la hora de realizar los cálculos [12].

3.2.2.1 Modelado del recinto

El modelado del recinto se desarrolló mediante el programa *Siemens NX*, y, posteriormente, exportado al programa de simulación acústica *I-Simpa*. A la hora de realizar el modelado del recinto, éste ha sido simplificado a dos dimensiones, de tal manera, que todos los cuerpos dentro del mismo se proyectaran sobre las superficies de los paramentos. Antes de exportar el modelo al programa de simulación, fue necesario definir las distintas superficies a las que se le asignaron distintos materiales de acabado. Las dimensiones del recinto, así como las áreas de las diferentes superficies son las mismas que las utilizadas anteriormente para el cálculo mediante la ficha del DB-HR. De este modo, el modelo representa una versión “idealista” del recinto de la piscina de la ENM y, por tanto, sirve como referencia y ampliación a los cálculos realizados; no obstante, los resultados pueden diferir en cierta medida de la realidad.

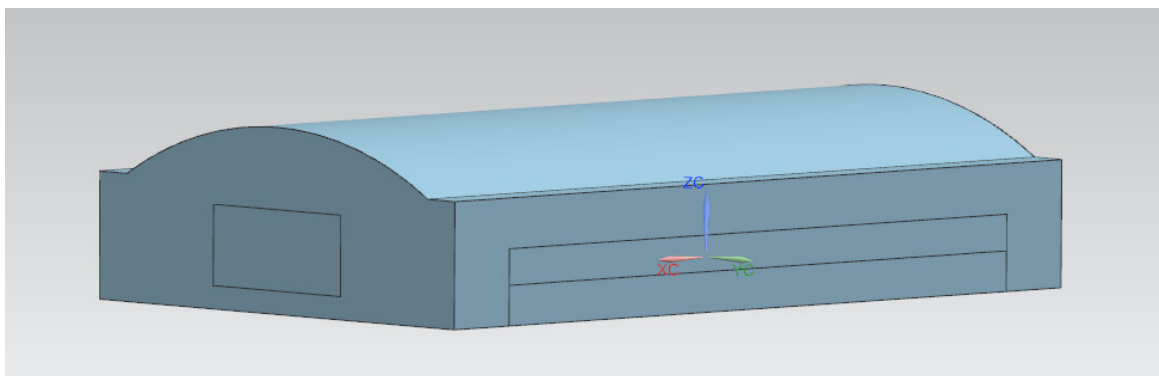


Figura 3-13 Modelado del recinto en NX

El formato para exportar el modelo del *Siemens NX* es STL, requerimiento para poder abrir el archivo con el programa de simulación. Al tratarse de un recinto de grandes dimensiones y con superficies planas y de geometrías, en su mayoría, simples, se ha optado por triángulos de mallado STL de gran tamaño, definiéndolos con un lado de 5 m.

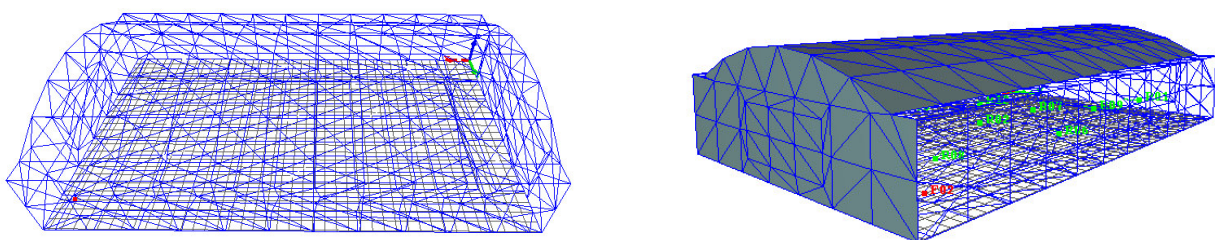


Figura 3-14 Modelo en formato STL

3.2.2.2 Asignación de Superficies y Materiales

Una vez abierto el archivo STL en el programa *I-Simpa*, el primer paso consistió en agrupar los triángulos de mallado STL en las superficies definidas, para, posteriormente, asignar los distintos materiales a las superficies.

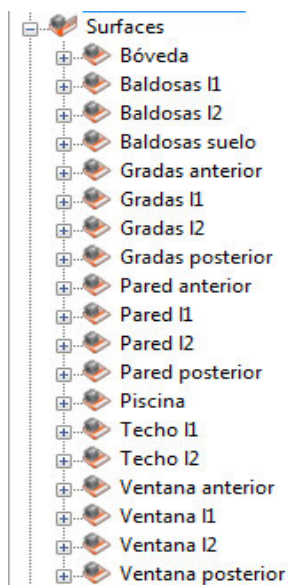


Figura 3-15 Superficies definidas del modelo

Aunque existen materiales predeterminados en la base de datos del programa, al necesitar, en este caso, materiales concretos, resultó imprescindible, de igual forma, definir dichos materiales nuevos. A éstos se les han asignado las características aportadas por el *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. Así, para poder comparar el resultado con el cálculo realizado en el punto anterior, la simulación se ha programado para las bandas de frecuencia de 500, 1.000 y 2.000 Hz; de modo que se asignaron valores de absorción acústica para estas bandas. Aparte de eso, se ha añadido la ley de difusión de los materiales, que, en este recinto, al ser todos ellos de acabado liso y rígido o superficies de agua y de vidrio, se consideraron todas las reflexiones especulares, con grado de difusión nulo. La transmisión a través de los paramentos no se ha tenido en cuenta, debido a que no existen habitaciones conectadas dentro del recinto.

A continuación se reflejan las propiedades asignadas a cada material:

Properties - Material spectrum (Enlucido de yeso)					
	Absorption	Diffusion	Transmission	Loss (dB)	Diffusion law
400 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
500 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
630 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
800 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1000 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1250 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1600 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2000 Hz	0.02	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2500 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular

Tabla 3-4 Caracterización Enlucido de yeso

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DE LA PISCINA DE LA ENM
Y OPTIMIZACIÓN DE POSIBLES ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA INCREMENTAR EL CONFORT DEL RECINTO
(VALORADAS EN FUNCIÓN DE SU CARÁCTER FUNCIONAL, EJECUCIÓN Y ESTÉTICA)

Properties - Material spectrum (Baldosas)					
	Absorption	Diffusion	Transmission	Loss (dB)	Diffusion law
400 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
500 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
630 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
800 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1000 Hz	0.02	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1250 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1600 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2000 Hz	0.02	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2500 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
3150 Hz	0	0	<input type="checkbox"/>	0	Specular

Tabla 3-5 Caracterización Baldosas

Properties - Material spectrum (Terrazo)					
	Absorption	Diffusion	Transmission	Loss (dB)	Diffusion law
400 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
500 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
630 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
800 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1000 Hz	0.02	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1250 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1600 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2000 Hz	0.02	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2500 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular

Tabla 3-6 Caracterización Terrazo

Properties - Material spectrum (Vidrio)					
	Absorption	Diffusion	Transmission	Loss (dB)	Diffusion law
400 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
500 Hz	0.05	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
630 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
800 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1000 Hz	0.04	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1250 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1600 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2000 Hz	0.03	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2500 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular

Tabla 3-7 Caracterización Vidrio

Properties - Material spectrum (Agua)					
	Absorption	Diffusion	Transmission	Loss (dB)	Diffusion law
400 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
500 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
630 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
800 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1000 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1250 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
1600 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2000 Hz	0.01	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular
2500 Hz	0.	0.	<input type="checkbox"/>	0.	Specular

Tabla 3-8 Caracterización Agua

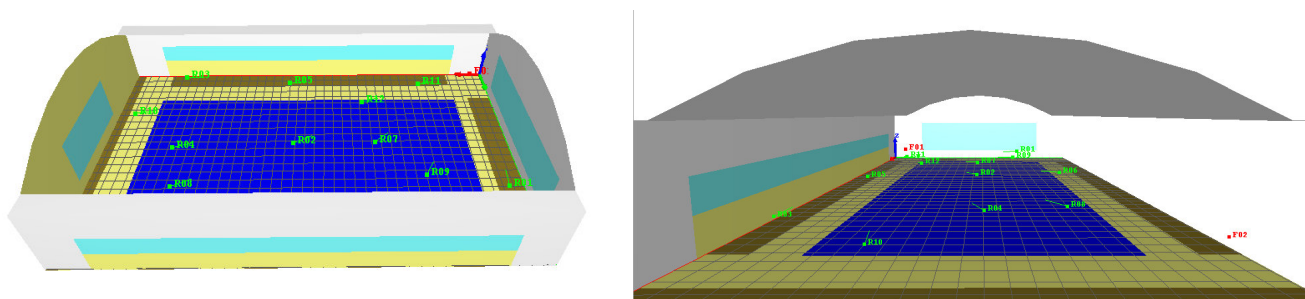


Figura 3-16 Modelo con materiales asignados a las superficies

3.2.2.3 Aplicación de fuentes sonoras y receptores puntuales

En el manual del programa *I-Simpa* se especifica que los parámetros acústicos de los recintos se pueden calcular siguiendo los criterios establecidos por la norma UNE-EN ISO 3382-1, como si se tratara de una medición “in situ” según dicha Norma. Esta Norma se divide en dos Partes, en la Parte 1 (ISO 3382-1:2009) se especifica la metodología para la medición de parámetros acústicos de salas de espectáculos y en la Parte 2 (ISO 3382-2:2008) se indican los criterios para la medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Dado que el recinto de la piscina de la ENM no entra dentro de ninguna de las Partes, y que éstas no se contradicen, en el presente trabajo se ha decidido cumplir con ambas, con el fin de obtener los mejores resultados posibles [13].

Así, la Parte 1 establece el número de receptores (posiciones del micrófono) que se han de aplicar en el software en función del número de asientos del auditorio; por lo tanto, esta exigencia no tiene lógica aquí, al no existir un número fijo de asientos de carácter de uso musical. Por tanto, aplicaremos lo exigido por la Parte 2, que establece en doce el número mínimo de combinaciones fuente-micrófono. Al tratarse la piscina de la ENM de un recinto de dimensiones muy elevadas, decidimos realizar el doble de combinaciones, colocando dos fuentes sonoras y 12 receptores puntuales.

Con respecto a la posición de las fuentes, la Norma establece que se utilicen al menos dos posiciones diferentes, situadas donde se encontrarían generalmente las fuentes sonoras naturales en el recinto. Además, sugieren que, en el caso de no existir posiciones normales, se coloquen en una esquina del recinto.

En este caso, se han situado ambas fuentes en dos esquinas opuestas del recinto, separadas 2 m de cada pared, y a una altura de 1,5 m sobre el suelo, como redacta la citada Norma.

Asimismo, los receptores se han instalado geográficamente en el recinto evitando posiciones simétricas, separadas más de 2 m unas de otras y a una altura de 1,2 m por encima del suelo. Esto se debe a que la distancia desde cualquier receptor a la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo, debe ser al menos un cuarto de longitud de onda [14] [15].

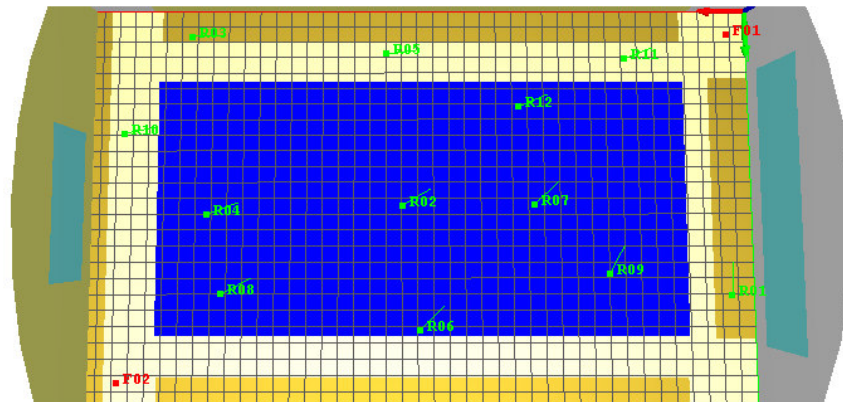


Figura 3-17 Disposición de fuentes sonoras (F01, F02) y receptores (R01-R12)

Como si se tratara de una medida real, se le han aplicado propiedades a las fuentes sonoras y a los receptores. A ambas fuentes se les ha dado un valor de potencia de emisión de 120 dB, y una presión sonora de 100 dB por banda de tercio de octava. Tanto a las fuentes como a los receptores se les ha aplicado unas características de omnidireccionalidad en su emisión sonora.

3.2.2.4 Simulación: Cálculos acústicos

El código usado para realizar los cálculos de TR es SPPS o *Simulación de la Propagación de Partículas Sonoras*. Este método realiza los cálculos emitiendo 100.000 partículas sonoras por cada fuente y estudiando su comportamiento dentro del modelo, teniendo en cuenta las reflexiones sobre los paramentos, así como su absorción acústica y la absorción atmosférica del aire. Además, permite elegir las bandas de frecuencia sobre las que realizar los cálculos. En nuestro caso seleccionamos las de 500, 1.000 y 2.000 Hz. Posteriormente, fue necesario realizar un mallado del modelo, para definir el volumen sobre el que realizar los cálculos. En la Figura 3-18 se muestra el mallado realizado. Una vez finalizado éste, el software realiza los cálculos acústicos.

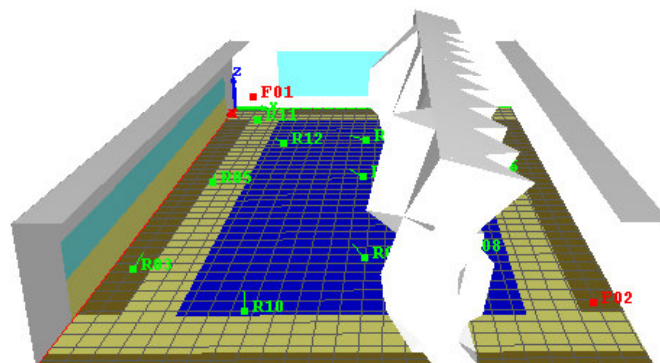


Figura 3-18 Mallado SPPS

3.2.2.5 Resultados de la simulación

El software proporciona muchos parámetros acústicos en los resultados; entre ellos, el tiempo de reverberación global (RT-15), que es el dato que podremos comparar con el valor obtenido en el Punto 3.2.1 del presente trabajo. Además, se obtiene un mapa de superficie, en el que se refleja el valor del TR en cada punto del recinto. En la Figura 3-20 se observa que el TR es mayor en las áreas próximas a una superficie; esto es debido a las reflexiones en dichas superficies. Así mismo, se añade una gráfica en la que se reflejan los valores de TR para cada banda de frecuencias (Figura 3-19).

El valor obtenido del TR global en el recinto es de 4,30 segundos (Tabla 3-9) que, aunque inferior al obtenido mediante el método de cálculo general (Punto 3.2.1), se puede considerar un valor lógico en función de sus propiedades, que tampoco cumple con el criterio de calidad establecido.

	Sound level (dB)	Sound level (dBA)	C-50 (dB)	C-80 (dB)	D-50 (%)	Ts (ms)	RT-15 (s)	EDT (s)	ST (dB)
500 Hz	127.453	127.453	-14.2435	-12.1238	3.627	865.0025	4.172	11.237	8.9324
1000 Hz	127.169	127.169	-13.9724	-11.8505	3.852	842.2217	4.271	11.016	8.9086
2000 Hz	126.7255	126.725	-13.5369	-11.4138	4.241	804.6634	4.476	10.631	8.8664
Global	131.8975	131.898	-13.9286	-11.8075	3.890	838.9932	4.287	10.970	8.9026
Average			-13.9176	-11.7960	3.907	837.2959	4.306	10.961	8.9025

Tabla 3-9 Resultados de la simulación

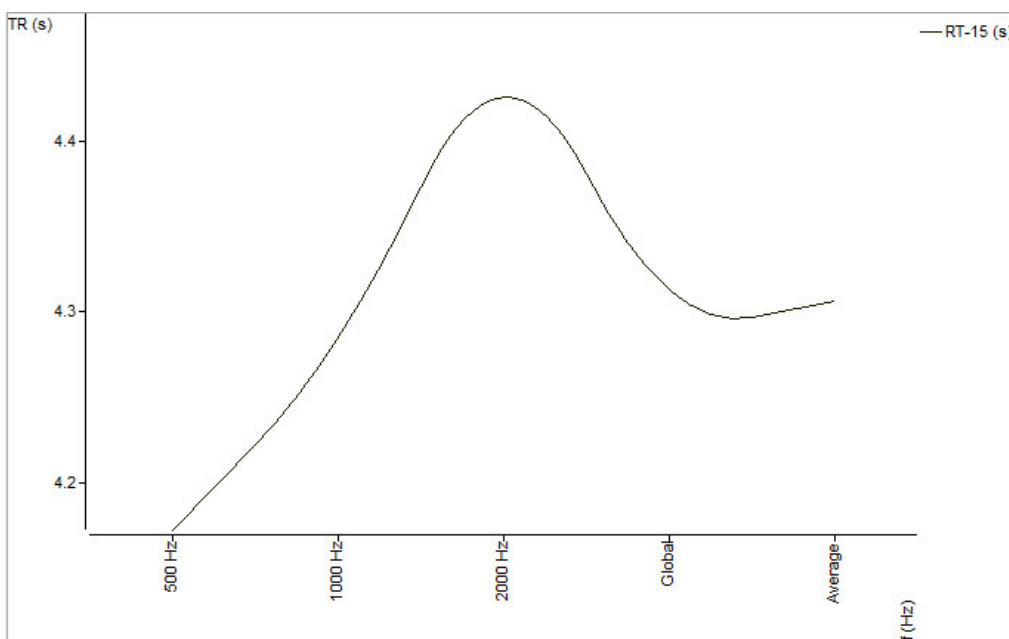
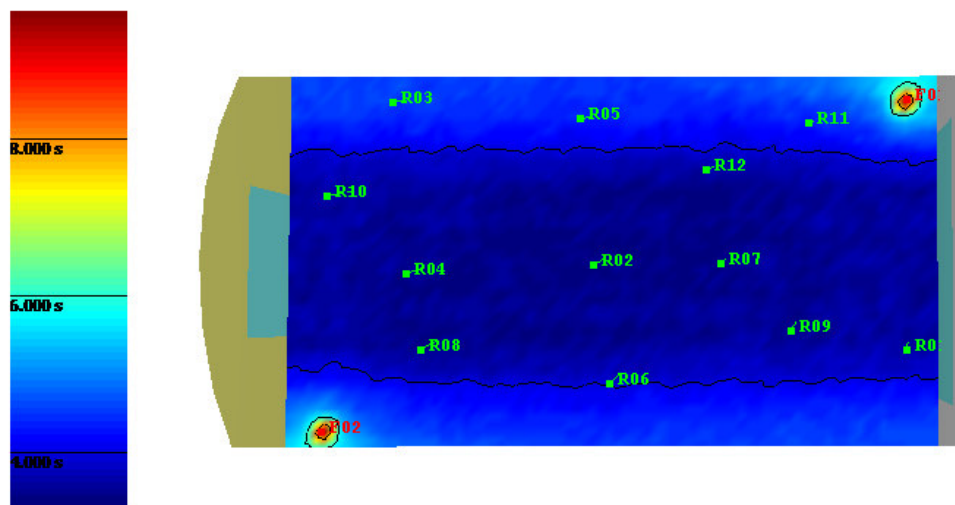


Figura 3-19 Gráfica TR según la banda de frecuencias



IR15
Surface receivers:SPPS\2017-02-23_21h39m58s\receptores\Global\

Figura 3-20 Mapa TR

3.2.3 La problemática de la bóveda

En el Capítulo 2 del presente trabajo se explica la problemática asociada a la existencia de una superficie cóncava dentro de un recinto, en relación con la calidad acústica del mismo. En este punto se detalla el caso específico de la bóveda del techo de la piscina de la ENM, estudiando su efecto concreto en la acústica del recinto.

La bóveda ocupa toda la longitud del recinto y la mayoría de su ancho. Si se traza una curva imaginaria siguiendo la geometría de la bóveda para obtener una figura cerrada, ésta poseería un radio de $R = 20,51$ m, mucho mayor que la altura de la bóveda (9,2 m). Por lo tanto, el centro de curvatura de la bóveda se encuentra por debajo del recinto.

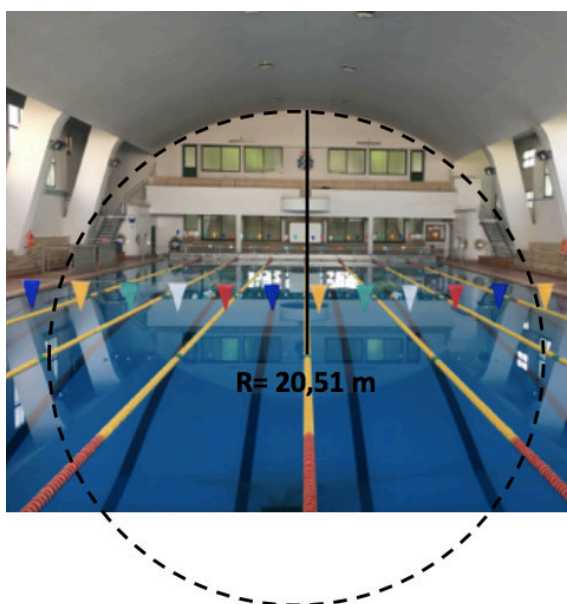


Figura 3-21 Radio Bóveda

Según consideraciones técnicas acústicas, bajo esta premisa, se producirá focalización problemática dentro del recinto, ya que la imaginaria prolongación de la bóveda “encerraría” a un usuario del recinto. Dicho de otro modo, si la circunferencia que comprende la bóveda se cerrase completamente sin contener a un receptor, no existiría focalización, como se muestra en la siguiente figura.

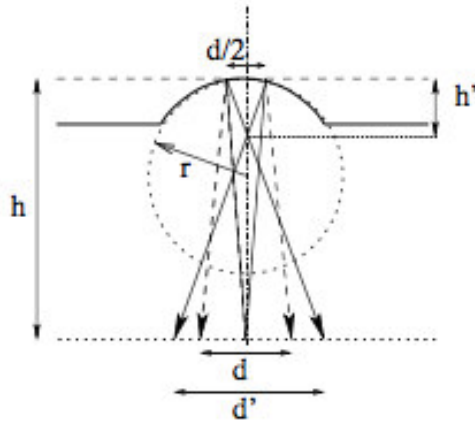


Figura 3-22 Prevención de la focalización [7]

En este recinto en concreto, la focalización se producirá sobre la piscina, debido a que esta se encuentra justo por debajo de la bóveda, coincidiendo su calle central en la misma vertical que el punto más alto del recinto. Esto significa que los usuarios que en mayor medida se ven afectados por las focalizaciones son los nadadores, y no aquellos que se encuentren fuera de la piscina. El principal problema que esto presenta se generará en el momento de recibir instrucciones del entrenador, ya que una vez nadando, el ruido no resulta molesto.

Posibles modificaciones para evitar la focalización de la energía procedente de la reflexión en la bóveda pueden ser las siguientes:

- a) Tratamiento de la superficie de la bóveda con un material absorbente, atenuando así la energía reflejada en la misma.
- b) Creando sobre la superficie de la bóveda elementos decorativos que actúen como difusores del sonido, evitando las reflexiones especulares (Figura 3-23) [7].

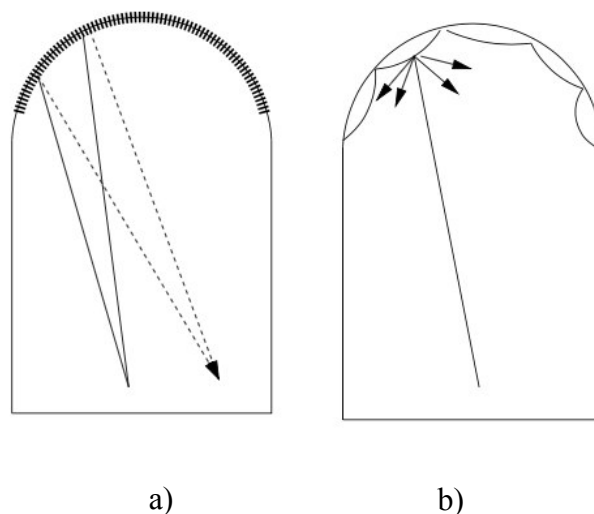


Figura 3-23 Modificación de comportamiento de superficies cóncavas: a) Diseñado de material absorbente; b) Uso de difusores [7]

3.2.4 Diagnóstico: Análisis de los resultados

Una vez obtenidos dos valores lógicos para el TR del recinto, usando dos metodologías diferentes, se concluye que el valor real de este parámetro se encontrará, sin duda, entre 4 y 6 segundos, valor muy alejado de 1,5 segundos establecido en el Punto 3.2.1 como criterio de calidad. Por lo tanto, decidimos tomar como referencia el más restrictivo de los dos (5,41 s) para plantear las diferentes propuestas de mejora en el recinto de la piscina de la ENM.

En cuanto a las focalizaciones producidas por la bóveda, al afectar únicamente a la piscina, concluimos que no presentan un problema demasiado relevante en lo relativo a la función del recinto en general. No obstante, dado que pueden resultar molestas para los bañistas, es un aspecto que puede ser mejorado.

En definitiva, concluimos que resulta necesario aplicar un tratamiento fonoabsorbente al recinto de la piscina de la ENM que, a ser posible, cumpla dos propósitos: reducir el TR a 1,5 segundos y disminuir el efecto negativo de la bóveda. De este modo, se alcanzaría un nivel de confort acústico óptimo.

3.3 Propuesta de mejora para incrementar el confort acústico: Definición de la solución técnica óptima

Una vez analizada la problemática de la acústica dentro del recinto de la piscina de la ENM, a continuación, se presentan las diferentes opciones de mejora propuestas. Los factores tenidos en cuenta para la elección de la mejor opción han sido los siguientes: funcionalidad (TR obtenido con su posible aplicación), facilidad de ejecución, coste estimado del material y estética.

Cabe mencionar que se ha decidido no añadir, entre las propuestas de mejora, ninguna opción que requiera el montaje de un falso techo acústico, ya que: desde el punto de vista estético se perdería la visión de la bóveda, desde el punto de vista económico el coste de ejecución sería muy elevado y desde el punto de vista de la propia ejecución la instalación sería muy compleja.

Aparte de eso, se ha procurado centrarse en opciones que impliquen el tratamiento de la superficie de la bóveda con materiales fonoabsorbentes, con el objeto de atenuar los ecos y las focalizaciones y reducir el tiempo de reverberación dentro del recinto.

Asimismo, se ha optado por opciones resistentes a la humedad y que requieran una instalación relativamente sencilla, ya que el propio recinto, por sus grandes dimensiones y su geometría, supone una dificultad añadida a la ejecución.

3.3.1 Análisis de las posibles alternativas

A continuación, se presentan las propuestas de mejora con su respectivo análisis centrado en el resultado de TR proporcionado, en la facilidad de ejecución, en el coste estimado y en la estética:

3.3.1.1 Sistema de panel y revestimiento continuo fonoabsorbente para la bóveda

Se trata de un sistema de absorción acústica para interiores formado por paneles rígidos, porosos y ligeros. Está fabricado a base de granulado de vidrio reciclado expandido sin aglomerantes, al que se incorpora en obra un enlucido acústico de poro fino. Este sistema alcanza un índice de absorción acústica de $\alpha_m=0,65$. Los paneles se adhieren directamente a la superficie, sin necesidad de subestructura ni cámara de aire. También ofrece buena resistencia mecánica y química, además de ser incombustible. El sistema escogido para el recinto tendría unas dimensiones por panel de 1250 x 625 mm, con 50 mm de espesor más 6 mm de espesor de enlucido, presentando un peso de 24 kg/m². Con este sistema se recubriría únicamente la bóveda (928 m²) del recinto. El total de paneles a instalar sería por tanto de 1187 [11].



Figura 3-24 Panel para revestimiento fonoabsorbente [9]

- a) Resultado proporcionado: La superficie total a cubrir por este sistema sería de 928 m²; sustituyendo, así, la misma superficie de enlucido de yeso actual por el revestimiento fonoabsorbente.

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>						Volumen, V (m ³):	8.300
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Revestimiento continuo fonoabsorbente</i>	928				0,65	603,2
	<i>Enlucido de yeso</i>	159,3	0,01	0,01	0,02	0,01	1,59
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	391,9	0,01	0,01	0,02	0,01	3,91
	<i>Baldosas</i>	332,1	0,01	0,02	0,02	0,02	6,64
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							Σ = 639,97
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m ²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
.....							
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)					4 · \bar{m}_m · V	
	500	1000	2000	α _m			
							199,2
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante	$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$					839,17	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante	$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					1,58	
Absorción acústica resultante de la zona común			Absorción acústica exigida				
A (m ²) = <input style="width: 50px;" type="text"/>			≥	<input style="width: 50px;" type="text"/> = 0,2 · V			
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido				
T (s) = <input style="width: 50px;" type="text" value="1,58"/>			≠	<input style="width: 50px;" type="text" value="1,5"/>			

Los cálculos anteriores reflejan que cubriendo únicamente la bóveda con este sistema no se alcanza por completo el criterio de calidad buscado. No obstante, el valor obtenido de TR=1,58 s no difiere casi del buscado; por lo tanto, no es suficiente como para descartar esta opción. Además, al cubrir la bóveda con este sistema absorbente se reducen los ecos y focalizaciones dentro del recinto.

- b) Facilidad de ejecución: la ejecución de este sistema es difícil, ya que, aunque no requiera ninguna subestructura ni cámara de aire, al adherirse los paneles directamente sobre la superficie, la ejecución se realizaría en su totalidad en la superficie de la bóveda, que se encuentra justo sobre la piscina; por lo que haría falta hacer uso de andamios de lado a lado del recinto, apoyados en el fondo de la piscina; lo cual complica la instalación del sistema.

- c) Punto de vista estético: desde el punto de vista estético esta opción es satisfactoria, ya que se mantendría prácticamente el aspecto original del recinto, sin perder la bóveda ni las superficies cubiertas con azulejos. Para el revestimiento se podría elegir entre varios colores.



Figura 3-25 Recinto con sistema de panel y revestimiento continuo fonoabsorbente [9]

3.3.1.2 Proyección de mortero fonoabsorbente sobre la bóveda

El sistema acústico se compone de mortero (hormigón) que combina lana de roca con cemento y otros aditivos. Destinado generalmente para la ignifugación de elementos constructivos, cuenta también, según ensayos, con buenas prestaciones fonoabsorbentes, alcanzando un valor de absorción acústica medio de $\alpha_m=0,8$ para un espesor de 35 mm. Se aplica por proyección mediante máquina neumática. El acabado puede ser tanto rugoso como liso. Para el recinto de la piscina de la ENM se proyectaría una capa de 35 mm de espesor sobre la superficie de la bóveda, aplicándole un acabado liso [16].

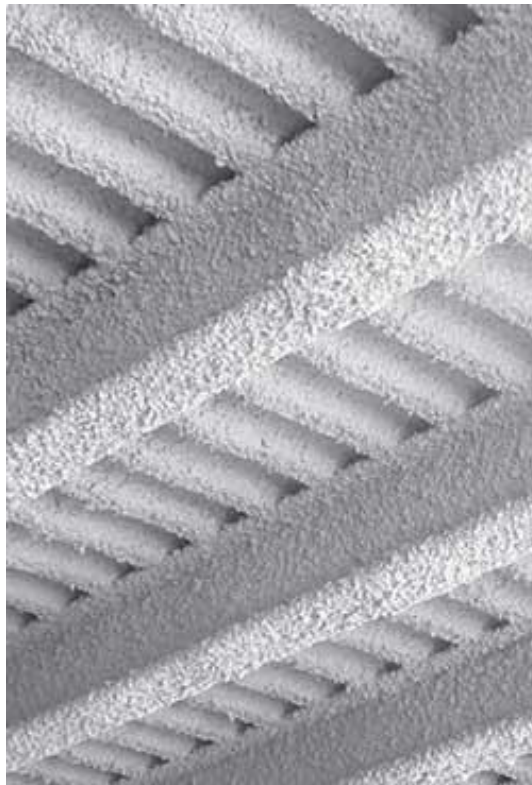


Figura 3-26 Proyección de mortero fonoabsorbente [16]

- a) Resultado proporcionado: La superficie a cubrir por el mortero se situaría en 928 m².

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>						Volumen, V (m ³):	8.300
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α_m Coeficiente de absorción acústica medio				α_m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α_m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Mortero proyectado fonoabsorbente</i>	928				0,8	742,4
	<i>Enlucido de yeso</i>	159,3	0,01	0,01	0,02	0,01	1,59
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	391,9	0,01	0,01	0,02	0,01	3,91
	<i>Baldosas</i>	332,1	0,01	0,02	0,02	0,02	6,64
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							$\Sigma = 779,17$
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m ²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α_m		
 							
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)					4 · \bar{m}_m · V	
	500	1000	2000	α_m			
							199,2
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante	$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$					978,37	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante	$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					1,36	
Absorción acústica resultante de la zona común						Absorción acústica exigida	
A (m ²) = <input type="text"/>						= 0,2 · V	
Tiempo de reverberación resultante						Tiempo de reverberación exigida	
T (s) = <input type="text" value="1,36"/>						<input type="text" value="1,5"/>	

Los cálculos anteriores reflejan que cubriendo únicamente la bóveda con este sistema absorbente se alcanza, e incluso se supera, el criterio de calidad buscado. Además, a aplicarlo en la bóveda se reducen los ecos y focalizaciones dentro del recinto.

- b) Facilidad de ejecución: la ejecución de este sistema es muy fácil, ya que no requiere ninguna subestructura ni cámara de aire, al proyectarse el mortero directamente sobre la superficie. La única dificultad reside en que la ejecución se realizaría en su totalidad en la superficie de la bóveda, que se encuentra justo sobre la piscina. Por lo que haría falta el montaje de andamios, que se apoyarían en el fondo de la piscina, limitando su uso durante la instalación.
- c) Punto de vista estético: desde el punto de vista estético esta opción es relativamente satisfactoria, ya que se mantendría prácticamente en su totalidad el aspecto original

del recinto, sin perder la bóveda ni las superficies cubiertas con azulejos. La bóveda mantendría su acabado liso, aunque con un color blanco-grisáceo no muy atractivo.

3.3.1.3 Revestimiento continuo fonoabsorbente sobre la bóveda (resonador)

El sistema consistiría en un revestimiento acústico continuo sin perforaciones, formado por una placa de lana mineral y un enlucido de compuestos microporosos basados en arena de mármol. Se trata de un panel flexible, por lo tanto, se comporta como un resonador de membrana, proporcionando buena absorción acústica en toda la gama de frecuencias. Se puede aplicar sobre cualquier tipo de superficies, ya sean planas, curvas, inclinadas o verticales, pudiendo cubrirse áreas de hasta 500 m² sin juntas. Existen diferentes modelos con distintos coeficientes de absorción. El seleccionado para el recinto bajo estudio se constituiría de una sola capa lisa y fina (grano de 0,5 mm) de 50 mm de espesor aplicada sobre la bóveda del recinto. Este sistema aportaría un coeficiente de absorción de $\alpha_m = 0,88$ [17].



Figura 3-27 Recinto con revestimiento continuo fonoabsorbente resonador [17]

a) Resultado proporcionado: La superficie a revestir sería de 928 m².

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>		Volumen, V (m ³):					
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Revestimiento continuo fonoabsorbente (resonador)</i>	928	0,95	0,9	0,8	0,88	816,64
	<i>Enlucido de yeso</i>	159,3	0,01	0,01	0,02	0,01	1,59
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	391,9	0,01	0,01	0,02	0,01	3,91
	<i>Baldosas</i>	332,1	0,01	0,02	0,02	0,02	6,64
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							Σ = 853,41
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m ²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)				4 · \bar{m}_m · V		
	500	1000	2000	α _m			
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante		$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$				1052,61	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$				1,26	
Absorción acústica resultante de la zona común		Absorción acústica exigida					
A (m ²) = <input type="text"/>		≥ <input type="text"/> = 0,2 · V					
Tiempo de reverberación resultante		Tiempo de reverberación exigido					
T (s) = <input type="text" value="1,26"/>		< <input type="text" value="1,5"/>					

Mediante los cálculos anteriores se observa que cubriendo únicamente la bóveda con este sistema se alcanza, e incluso se supera, el criterio de calidad buscado. Además, al cubrir la bóveda con este material absorbente se reducen los ecos y focalizaciones dentro del recinto.

b) Facilidad de ejecución: la instalación de este sistema se puede definir como difícil, ya que, al igual que con las opciones anteriores, la instalación se realizaría sobre la piscina, por lo que haría falta montar andamios de lado a lado del recinto, que se apoyarían en el fondo de la piscina, limitando claramente su uso. No obstante, este sistema permite cubrir áreas de hasta 500 m² sin juntas. Por lo tanto, las juntas se colocarían en los laterales de la bóveda, sin suponer esto ninguna gran

complicación. Además, no requiere de cámara de aire, por lo que se instalaría directamente sobre la superficie de la bóveda.

- c) Punto de vista estético: desde el punto de vista estético esta opción es muy adecuada, ya que mantendría prácticamente en su totalidad el aspecto original del recinto, sin perder la forma abovedada del techo ni las superficies cubiertas con azulejos. La bóveda mantendría su acabado liso y blanco.

3.3.1.4 Instalación de elementos fonoabsorbentes de espuma de melamina bajo la bóveda (baffles acústicos)

Esta opción técnica consiste en elementos de espuma de resina de melamina con excelentes cualidades de absorción acústica. La propuesta seleccionada para el recinto de la piscina de la ENM se basa en el recubrimiento de la bóveda del recinto con estos cilindros, instalados en horizontal y sujetos mediante una placa de aluminio con un gancho para colgar sobre los cables de acero fijados en los extremos del recinto. Los cables se fijarían de tal modo que la instalación siguiese la geometría de la bóveda. Las dimensiones de cada cilindro son de 1250 mm de longitud por 230 mm de diámetro. Si se deja un plenum de entre 1 y 2 m se alcanza un coeficiente de absorción acústica de $\alpha_m = 1$. Al tratarse, en este caso, de elementos cilíndricos no unidos entre sí (no se perdería la visión de la bóveda en toda su superficie). Se ha de calcular el número de elementos que hacen falta para alcanzar el criterio de calidad establecido. La absorción acústica actual del recinto, estimada en el Punto 3.2 mediante la fórmula de Sabine es de $A = 245,25 \text{ m}^2$, y un tiempo de reverberación de $TR = 5,41 \text{ s}$. Por lo tanto, hay que realizar el cálculo de A para un tiempo de reverberación de $TR = 1,5 \text{ s}$. A partir de ahí, se obtiene el número de elementos a instalar [9].

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{TR} = \frac{0,16 \cdot 8300}{1,5} = 885,33 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, contando ya con una absorción de $245,25 \text{ m}^2$, habrá que conseguir una A de $885,33 - 245,25 = 640,08 \text{ m}^2$. Cada cilindro posee un área de $0,2875 \text{ m}^2$ y un coeficiente de absorción de $\alpha_m = 1$. A partir de aquí, se calcula el número de elementos necesarios para conseguir el nivel de absorción deseado:

$$\text{N}^\circ \text{ de elementos} = \frac{640,08}{0,2875} = 2.227$$

Es decir, se necesitarían 2227 elementos absorbentes para conseguir un tiempo de reverberación de 1,5 s. La superficie total de absorbente aportada por ellos sería de $2.227 \times 0,2875 = 640,3 \text{ m}^2$.



Figura 3-28 Elementos cilíndricos fonoabsorbentes de espuma de melamina [9]

- a) Resultado proporcionado: A continuación, se muestra el cálculo del tiempo de reverberación del recinto con 2.227 elementos instalados bajo la bóveda:

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>						Volumen, V (m ³):	8.300
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	1087,3	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
	<i>Elementos fonoabsorbentes</i>	640,3	1,00	1,00	1,00	1,00	640,3
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	391,9	0,01	0,01	0,02	0,01	3,91
	<i>Baldosas</i>	332,1	0,01	0,02	0,02	0,02	6,64
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							Σ = 686,35
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{0,m} (m ²)				A _{0,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)					4 · \bar{m}_m · V	
	500	1000	2000	α _m	199,2		
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante	$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{0,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$					885,55	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante	$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					1,5	
Absorción acústica resultante de la zona común		Absorción acústica exigida					
A (m ²) =		≥		= 0,2 · V			
Tiempo de reverberación resultante		=		Tiempo de reverberación exigido			
T (s) =		=		1,5			

Se comprueba que instalando 2.227 elementos absorbentes acústicos se consigue el TR deseado. Adicionalmente, la instalación de los elementos debajo de la bóveda reduce, de igual manera que las otras opciones, la creación de ecos y focalizaciones dentro del recinto.

- b) Facilidad de ejecución: La instalación se llevaría a cabo fijando los cables de acero en horizontal en las paredes anterior y posterior del recinto. Los cables vienen pre-montados por lo que la instalación es rápida y sencilla. Además, al fijarse los cables en los extremos del recinto y no haber sujeciones intermedias, la piscina no presenta un problema y no se limita su uso durante la instalación. Además, es fácil de desmontar en caso de saneamiento del recinto.

- c) Punto de vista estético: Si bien es cierto que esta es la opción que más difiere del aspecto original del recinto, el sistema instalado permite ver la bóveda y mantiene el color blanco original. Aparte de eso, los elementos cilíndricos le proporcionan un aspecto moderno y elegante al recinto.



Figura 3-29 Recinto con sistema de baffles absorbentes acústicos [9]

3.3.1.5 Recubrimiento de paramentos del recinto con paneles de madera laminada

Esta opción técnica estaría formada por un conjunto de paneles con capacidad de absorción acústica realizados en madera laminada. Los paneles poseen unas dimensiones de 2.418 x 177,5 x 33 mm cada uno, dejándose huecos de 6 mm entre panel y panel para una mejor absorción acústica. Además de los 33 mm de espesor del panel de madera, se añaden dos capas absorbentes: un panel de 30 mm de cáñamo y otro de 22 mm de fibra de madera, además de una cámara de aire de 112 mm entre el panel y la pared. El espesor total del sistema es de 197 mm, alcanzando un coeficiente de absorción acústica de $\alpha_m=0,6$. Con este sistema se cubrirían todos los paramentos del recinto a excepción de los ventanales, sumando un área de 724 m². El total de paneles a instalar sería de 1.631 [18].

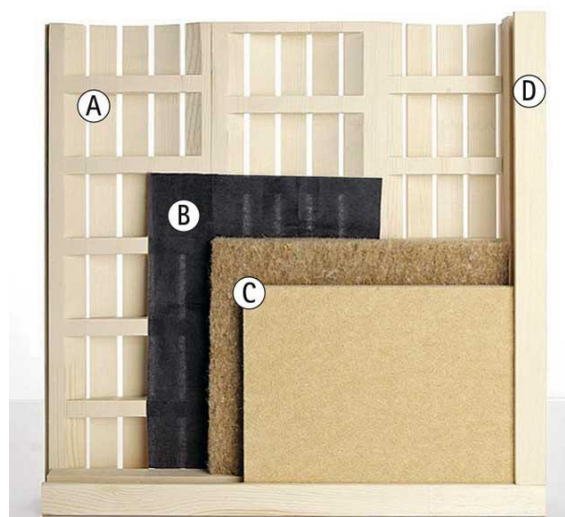


Figura 3-30 Sistema fonoabsorbente de paneles de madera laminada

- a) Resultado proporcionado: La superficie total a cubrir por este sistema sería de 724 m², sustituyendo así toda la superficie de enlucido de yeso y de baldosas de las paredes del recinto por el sistema de paneles de madera laminada.

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i>Volumen, V (m ³):						8.300	
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m ²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Agua</i>	533,28	0,01	0,01	0,01	0,01	5,33
	<i>Baldosas</i>	309,37	0,01	0,02	0,02	0,02	6,19
	<i>Terrazo</i>	199	0,01	0,01	0,02	0,02	3,98
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	1087,3	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
Paramentos	<i>Paneles de madera laminada con absorción acústica</i>	724	1,00	0,8	0,55	0,78	564,72
	<i>Vidrio</i>	228,19	0,05	0,04	0,03	0,04	9,13
							Σ = 600,22
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m ²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾	Coeficiente de atenuación del aire, \bar{m}_m (m ⁻¹)				4 · \bar{m}_m · V		
	500	1000	2000	α _m			
			0,003	0,005	0,01	0,006	199,2
A, (m ²)	Absorción acústica del recinto resultante					799,42	
			$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$				
T, (s)	Tiempo de reverberación resultante					1,66	
			$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$				
Absorción acústica resultante de la zona común			Absorción acústica exigida				
A (m ²) = <input type="text"/>			≥ <input type="text"/> = 0,2 · V				
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido				
T (s) = <input type="text" value="1,66"/>			≠ <input type="text" value="1,5"/>				

Se observa en los cálculos anteriores que cubriendo toda la superficie de la pared con este sistema no se alcanzaría el criterio de calidad deseado. Por otra parte, conviene indicar que, al no aplicarse ningún tipo de tratamiento en la bóveda, se seguirían generando ecos y focalizaciones debido a ella.

- b) Facilidad de ejecución: La instalación de este sistema es sencilla, pero puede llevar algo más de tiempo, ya que requiere de una estructura de apoyo entre los paneles y la pared. Esta estructura consiste en la colocación de vigas de madera de 50 mm de ancho y 63 mm de espesor, de forma vertical y cada 620 mm. Sobre esta estructura se fijaría el sistema de paneles. La ventaja que tiene la instalación de este sistema con respecto a otros es que, al no tratar la bóveda, la cual se encuentra justo encima de la piscina, esta no presentaría un obstáculo durante la instalación, y no limitaría su uso.

- c) Punto de vista estético: Desde el punto de vista estético, esta opción es muy buena, ya que, en primer lugar, ni se tapa la bóveda ni se cambia su aspecto y, en segundo lugar, se proporciona al recinto un aspecto limpio y elegante gracias al sistema de paneles de madera.



Figura 3-31 Recinto con sistema fonoabsorbente de paneles de madera laminada [18]

3.3.2 Diagnóstico de variables: Solución óptima

A continuación, se muestra una tabla resumen con la comparación de las diferentes opciones propuestas:


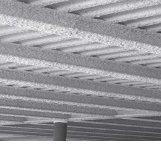

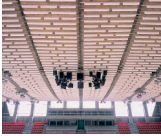

Sistemas		TR final	Atenuación de ecos y focalizaciones bóveda	Dificultad de ejecución	Coste	Estética
Panel y revestimiento fonoabsorbente		1,58	Si	Complicada	Medio	Regular
Mortero fonoabsorbente proyectado		1,36	Si	Fácil	Bajo	Mala
Revestimiento resonador		1,26	Si	Complicada	Alto	Muy buena
Baffles acústicos		1,50	Si	Fácil	Alto	Muy buena
Paneles de madera laminada		1,66	No	Fácil	Medio	Excelente

Tabla 3-10 Resumen de los resultados

Por lo tanto, puede indicarse lo siguiente:

- a) A la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que no existe ninguna opción insatisfactoria para el objetivo de obtener una buena calidad acústica dentro del recinto.
- b) No obstante, las diferencias en la estética proporcionada serían muy distinta.
- c) Además, según los cálculos realizados, una de las opciones no permite dos de los requerimientos establecidos: alcanzar un TR menor de 1,5 segundos y atenuar la focalización producida por la forma abovedada del techo. Aunque esto no signifique que esta solución no sea posible, decidimos descartarla ya que contamos con otras que sí cumplen todos los criterios.
- d) Lo mismo ocurre con la primera opción, que, aunque proporciona buenos resultados y la instalación es sencilla, no alcanza el TR exigido.
- e) Decidimos, también, descartar el revestimiento resonador, debido a que su ejecución es la más compleja.
- f) **De este modo, se opta por seleccionar la instalación de baffles acústicos como la opción más idónea para alcanzar el confort acústico deseado.** La principal razón de esta decisión es la elevada flexibilidad que proporciona este sistema a largo plazo. Esta opción cuenta con una instalación más sencilla que el resto y, además, permite desinstalarla en caso de que fuera necesario, para, por ejemplo, realizar mantenimiento en el techo. Además, con este sistema se alcanza, exactamente, el TR deseado. Adicionalmente, se cuenta con la opción de variar el TR, simplemente, añadiendo o retirando elementos absorbentes.
- g) Un punto que no se ha mencionado en el presente trabajo, pero que se vería afectado de manera directa por la solución seleccionada, es el incremento en el uso de la megafonía dentro del recinto, hasta ahora muy limitado, debido a la mala inteligibilidad de la palabra que genera actualmente. No obstante, este es un recurso muy útil en un recinto de estas dimensiones. Así, como se ha explicado en el Punto 2.1.9, al reducir el TR a un nivel óptimo, también se mejora en gran medida la inteligibilidad de la palabra, permitiendo explotar al máximo todos los recursos del recinto.



Figura 3-32 Opción seleccionada: baffles absorbentes acústicos [9]

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

Contar con una buena calidad acústica dentro de cualquier recinto deportivo resulta fundamental para poder aprovechar sus condiciones de uso.

Dicha calidad acústica está íntimamente relacionada con el concepto de acondicionamiento acústico. Así, el parámetro más relevante a la hora de acondicionar acústicamente un recinto deportivo es el tiempo de reverberación. Por tanto, un tiempo de reverberación adecuado se convierte en un factor clave para poder desarrollar, de forma cómoda y segura, las actividades para las que esté diseñado el recinto. De este modo, se mejorarán, además, otros parámetros como la inteligibilidad de la palabra; reduciendo, así, no solo el ruido producido por la reverberación, los ecos y las focalizaciones, sino también el estrés y la incomodidad que puedan sufrir los usuarios.

En este sentido, el marco normativo regulador de las condiciones acústicas de los recintos destinados a piscinas, norma *NIDE 3*, elaborada por el Consejo Superior de Deportes, establece las condiciones que ha de cumplir todo proyecto de construcción de piscinas públicas, ya sean al aire libre o cubiertas. Del mismo modo, el Documento Básico DB-HR “*Protección frente al ruido*” del Código Técnico de la Edificación (CTE), dicta que, todos los recintos con un volumen mayor de 350 m³ deberán ser objeto de un estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico.

En este contexto, el presente trabajo, aunque fuera de las exigencias normativas, ha adoptado el valor de tiempo de reverberación exigido por la norma *NIDE 3* como referencia y criterio de calidad. Posteriormente, se ha realizado una caracterización acústica del recinto de la piscina de la ENM, tanto mediante el método de cálculo general proporcionado por el DB-HR como mediante una simulación acústica en el software *I-Simpa*, la cual ha demostrado que, efectivamente, el recinto posee un tiempo de reverberación muy superior al aconsejado por dicha Norma.

Por lo tanto, se ha procedido a la propuesta de distintas opciones técnicas que reducirían el tiempo de reverberación y mejorarían, así, la calidad acústica dentro del recinto. Después de realizar el análisis de las diferentes opciones y de comparar los resultados obtenidos mediante la posible aplicación de cada una de ellas, se ha seleccionado como sistema más idóneo la instalación de baffles absorbentes acústicos debajo del techo del recinto.

Así, puede concluirse que, debido al elevado tiempo de reverberación existente actualmente en el recinto de la piscina de la ENM, la calidad acústica dentro del mismo no es adecuada. No obstante, existen una gran variedad de sencillas modificaciones que se pueden aplicar a dicho recinto, y que

mejorarían, en gran medida, sus condiciones acústicas, permitiendo sacar el máximo provecho a su uso.

4.2 Líneas futuras

Como posibles líneas futuras se recomienda continuar con el estudio y la evaluación de las condiciones acústicas de otros recintos de la ENM que, dada su naturaleza y el uso al que están destinados, debieran poseer un acondicionamiento acústico determinado.

En este sentido, posibles recintos candidatos para la realización de dichos diagnósticos acústicos, y propuestas de mejora, podrían ser los siguientes:

- Pabellón del gimnasio GM Barrutia.
- Comedor de Alumnos.
- Salón de Actos.

Asimismo, se plantea la realización de un estudio más exhaustivo del recinto de la piscina que complete el presente trabajo, mediante la realización de mediciones “in situ” del tiempo de reverberación en caso de ejecutarse alguna de las medidas propuestas en el presente Trabajo de Fin de Grado.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Consejo Superior de Deportes, Ministerio de Educación Cultura y Deporte, Gobierno de España, [En línea]. Available: <http://www.csd.gob.es>. [Último acceso: 13 Enero 2017].
- [2] I. M. Mencía, Aplicación de criterios de evaluación de las características acústicas de un recinto destinado a teatro, Vigo, Pontevedra, 2013.
- [3] F. J. R. Rodríguez, J. d. I. P. Crespo y C. D. Sanchidrián, Guía de acústica de la construcción, S. L., Ed., Madrid: Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000, 2008.
- [4] A. C. Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Edicions UPC, 1998.
- [5] P. T. Tova, Evaluación mediante ensayos "in situ" de las condiciones acústicas del Aula de Grado: Aislamiento y acondicionamiento, 2016.
- [6] F. A. Everest y K. C. Pholmann, Master Handbook of Acoustics, 5ª ed., Mc Graw Hill, 2009.
- [7] M. A. S. Seoane y E. A. Cortizo, Ingeniería acústica, Vigo, Pontevedra: Servicio de Publicaciones de Teleco Vigo, Sociedade Cooperativa Galega.
- [8] F. J. R. Rodríguez, «Evaluación de condiciones acústicas,» 2012.
- [9] «Porosonic systems, S:L.,» [En línea]. Available: <http://porosonic.com>. [Último acceso: 17 febrero 2017].
- [10] Ministerio de Vivienda, Código Técnico de la Edificación, 2006.
- [11] «pintaelements,» [En línea]. Available: (<http://www.pintaelements.com/en/home/competences/architecture/references/project/absorber-rondo-alu-swimming-pool-monthlery-france.html>), . [Último acceso: 23 enero 2017].
- [12] M. H. Jensen, «Comsol,» 2015. [En línea]. [Último acceso: 26 Febrero 2017].
- [13] J. Picaut y N. Fortin, Manuel d'utilisation de I-Simpa, Université de La Rochelle, 2011.
- [14] Aenor, UNE-EN ISO 3382-1, vol. 1, Aenor, Ed., Aenor, 2008.
- [15] Aenor, UNE-EN ISO 3382-1, vol. 1, Aenor, Ed., Aenor, 2010.

- [16] «Tecresa protección pasiva,» [En línea]. Available: <http://www.mercortecresa.com/solucion-constructiva/mortero-tecwool-f>. [Último acceso: 18 febrero 2017].
- [17] «Baswa acoustic AG,» [En línea]. Available: <http://www.baswa.com/es/>. [Último acceso: 18 febrero 2017].
- [18] «Holteg GMBH,» [En línea]. Available: <http://pdf.archiexpo.es/pdf-en/holteg/lenofon-catalogue/65108-130905.html#open>. [Último acceso: 18 febrero 2017].
- [19] H. Arau, ABC de la acústica arquitectónica, ediciones ceac.
- [20] Division of engineering acoustics Lund University, Acoustic design of swimming halls Malin hall, Lund, 2016.
- [21] F. R. Rodríguez, «Ampliación del recinto ferial de Vigo. Informe preliminar de evaluación del tiempo de reverberación».

ANEXO I: GLOSARIO

Absorbente acústico: Dispositivo o medio con absorción acústica notable.

Absorción acústica: Acción y efecto de absorber energía de un campo acústico por el medio de propagación, dispositivos, objetos y obstáculos o por las superficies límites del campo acústico.

Absorción atmosférica: Absorción por disipación de energía en la propagación acústica en el aire.

Acondicionamiento acústico: Medidas encaminadas a adaptar las características acústicas de recintos a los usos para los cuales están destinados.

Aislamiento acústico: Medidas encaminadas a la disminución de la energía acústica transmitida entre recintos.

Área de absorción equivalente de una superficie: Área de una superficie de coeficiente de absorción unidad que absorbiera la misma potencia acústica, en una sala reverberante con condiciones de campo acústico difuso, que la superficie considerada. Es igual al producto del área de la superficie por su coeficiente de absorción acústica.

Atenuación acústica: Disminución del nivel de presión acústica entre dos puntos determinados.

Banda de octava: Intervalo o banda de frecuencia en la que el cociente entre las frecuencias límite superior e inferior es igual a dos. Las frecuencias centrales de las bandas de octava normalizadas son 31, 62, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000, 8.000 y 16.000 Hz.

Banda de un tercio de octava: Intervalo o banda de frecuencia en la que el cociente entre las frecuencias límite superior e inferior es igual al cociente de octava elevado a un tercio.

Coefficiente de absorción acústica, α : Fracción de la intensidad acústica absorbida por un determinado medio o material, dependiente de la frecuencia y del ángulo de incidencia. Sus valores se encuentran comprendidos entre 0 y 1, lo cual representa muy poca absorción o una gran absorción respectivamente.

Coefficiente de absorción del aire: Atenuación de la intensidad acústica por unidad de longitud recorrida por una onda acústica debida a la absorción del aire. Depende de la frecuencia, la temperatura absoluta, la humedad relativa y la presión atmosférica. Se suele expresar en decibelios por kilómetro.

Escala de ponderación A: Escala que corrige los niveles de presión sonora en función de la frecuencia para **caracterizar la reacción humana frente al sonido**. Los resultados obtenidos se expresan en dBA.

Decibelio (dB): Es la unidad de la escala de medida empleada para cuantificar el sonido. Su magnitud es el nivel y se establece a partir de una expresión matemática basada en la noción del logaritmo decimal. Esta relaciona la magnitud que se pretende cuantificar con una referencia correspondiente al límite de sensibilidad humana respecto a tal magnitud.

Decibelio A (dBA): Resultado de emplear la escala de ponderación A en una medida acústica.

Eco: Efecto de una onda acústica que ha sido reflejada y que vuelve con una intensidad y un retardo respecto al sonido directo tales que puede ser detectada como una repetición diferenciada de la onda directa.

Espectro frecuencial de un sonido: Representación de la distribución de energía acústica que posee un sonido en las distintas frecuencias que lo constituyen. Se suele expresar mediante niveles de presión o de potencia en bandas de tercio de octava o de octava.

Frecuencia (f): Número de pulsaciones que una onda acústica senoidal experimenta en un segundo. Su unidad es el hercio (Hz).

Frecuencia de resonancia: Frecuencia a la que se produce resonancia en las condiciones de ensayo.

Frente de onda: Para una onda acústica propagándose en el espacio, superficie continua que constituye el lugar geométrico de los puntos que tienen la misma fase en un instante especificado.

Fuente acústica omnidireccional: Fuente que emite uniformemente en todas las direcciones del espacio.

Hercio (Hz): Unidad de frecuencia, igual a la frecuencia de un fenómeno periódico cuyo periodo es de 1 segundo.

Índice de inteligibilidad: Relación entre el número de elementos fonéticos correctamente recibidos y el número total de elementos fonéticos transferidos.

Intensidad sonora: Energía que fluye a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras por unidad de tiempo; es decir, potencia acústica radiada por unidad de superficie. Depende de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar donde se encuentre la fuente. Se expresa en W/m^2 .

Material absorbente acústico: Material caracterizado por un coeficiente de absorción acústica relativamente grande.

Material absorbente poroso: Material con huecos interconectados que presenta resistencia al paso de un líquido o un gas a través del material. Posee la capacidad de disminuir la cantidad energía reflejada y apenas se opone a la transmisión del sonido incidente. Disipa la energía acústica incidente en forma de energía calorífica.

Material reflectante: Material que presenta un coeficiente de absorción acústica muy bajo, menor que 0,06.

Micrófono: Transductor electroacústico que permite obtener señales eléctricas a partir de señales acústicas en un medio gaseoso.

Onda sonora en el aire: Es la propagación de una perturbación caracterizada **por la sucesión** periódica **en espacio y tiempo** de compresiones y expansiones de volúmenes de aire.

Oscilación acústica: Movimiento de partículas en un medio elástico en torno de una posición de equilibrio.

Plenum: Volumen por encima de un techo suspendido.

Porosidad: Relación entre el volumen de huecos de un material y el volumen total del mismo.

Potencia acústica: Cantidad de energía sonora emitida por una determinada fuente sonora por unidad de tiempo. Es característica de la fuente sonora. Se expresa en vatios (W).

Presión acústica: Representa el incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de una onda acústica. Es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en donde ésta se encuentre. Se expresa en pascales (Pa) o N/m^2 .

Reflexión acústica: Fenómeno por el cual una onda acústica es devuelta por una superficie de separación entre dos medios, con un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia.

Resonadores: Materiales de acondicionamiento acústico empleados para absorber selectivamente determinadas frecuencias del sonido (principalmente las bajas frecuencias).

Resonador de membrana: Placa de material no poroso y flexible colocada a una distancia de separación de un tabique o forjado que vibra al incidir sobre ella la onda acústica, que es transformada en energía dinámica. De este modo se absorben aquellas frecuencias a la que vibra de forma natural cuando recibe el impacto de la onda acústica.

Resonador de Helmholtz: Dispositivo formado por un volumen que se comunica con el exterior a través de una abertura o cuello.

Resonancia: Fenómeno que se produce en un sistema en oscilación forzada, tal que cualquier variación en la frecuencia de la excitación provoca una disminución en la respuesta del sistema.

Reverberación: Es el fenómeno de persistencia del sonido en el interior de un recinto cuando la fuente sonora ya ha dejado de emitir.

Revestimiento absorbente acústico: Capa con que se recubre una superficie para reducir la señal reflejada por la misma.

Ruido: Sonido o cualquier otra perturbación desagradable o indeseada.

Sonido directo: Sonido que se propaga directamente desde la fuente al punto de observación y en el que no interviene ninguna reflexión.

Tiempo de reverberación (T): Tiempo, en segundos, necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB después del cese de la emisión de la fuente sonora.

ANEXO II: EJEMPLOS DE CATÁLOGOS COMERCIALES

PINTA ABSORBER RONDO

Descripción

Es la solución redonda de nuestra gama de productos para la absorción. el absorber-rondo tiene un peso aproximado de 400 gr. Y por ello permite desmontarlo fácilmente en caso de saneamiento de una Sala, así como para reinstalarlo en otros lugares.

Sistemas de anclaje

a) Absorber rondo T, con un corte T para colocar en perfilería de 15 o 24 mm Vertical y Horizontal.

b) Absorber rondo S, consta de una placa de aluminio con un gancho para colgar sobre cable de acero. Vertical y Horizontal

c) Absorber Rondo barra de aluminio central Horizontal.

Colores

Blanco y gris perla.
Bajo pedido se puede suministrar en cualquier color RAL

Dimensiones

Corte T Horizontal:	Rondo S Horizontal:
1200 x Ø 150 mm	1250 x Ø 150 mm
1200 x Ø 230 mm	1250 x Ø 230 mm

Corte T Vertical	Rondo S Vertical
1000 x Ø 150 mm	1200 x Ø 150 mm
1000 x Ø 230 mm	1200 x Ø 230 mm

Con Barra Aluminio

1200 x Ø 150 mm
1200 x Ø 230 mm

Aplicaciones

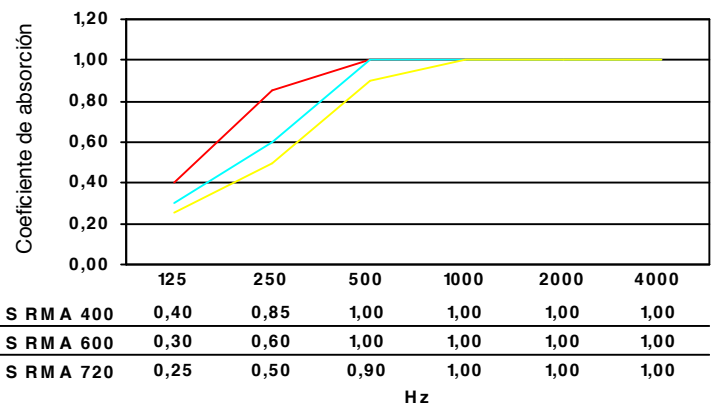
Sala de conferencias
Múltiples salas y gimnasios
Centros acuáticos y las piscinas cubiertas
Salas de música y aulas
Instalaciones de fabricación
Estadios
Casi cualquier espacio interior con la reverberación o eco de las cuestiones



Ventajas del Producto

Fácil de instalar
Cables disponibles pre-montados.
Favorable al medio ambiente, certificado OEKOTEX, libres de fibras sintéticas y naturales, halógenos y los CFC Bajo Peso
Extraordinaria absorción en un amplio espectro de frecuencias.
Posibilidad de combinar con otro tipo de panel
Alta resistencia al envejecimiento
Fácil de adaptar
Puede ser instalado al mismo tiempo seguir trabajando.

Absorción Absorber Rondo S 1250 x 230 mm (plenum 1770 mm)



PINTA ABSORBER RONDO

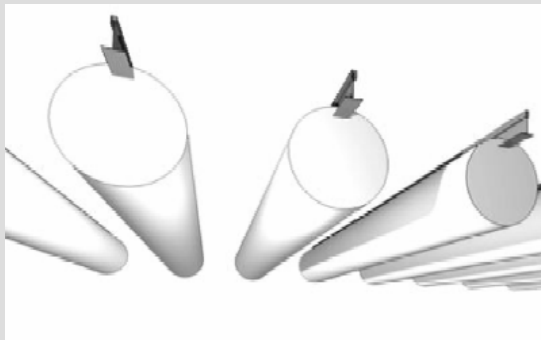
Datos Técnicos Absorber Rondo

Propiedades	Norma	Descripción
Material base		Espuma de resina de melamina
Colores		Blanco y gris perla
Densidad del material	En ISO 845	9,5 ± 1,5 kg/m ³
Reacción al fuego según DIN 4102	DIN 4102	B1 (Clase 1 difícilmente inflamable) C s2 d0
Certificado Construcción		P-NDS04-2291
Conductividad térmica (espesor = 50 mm)	DIN 52612	$\Lambda_{100} < 0,035$ W/mk
Grado de absorción acústica (espesor = 50 mm; 2000 Hz)	DIN 52215	> 90%
Resistencia a la tracción	DIN EN ISO 179	De 120 a 180 kPa
Porcentaje de alargamiento después de la rotura	DIN EN ISO 1798	De 15 a 29%
Resistencia a la compresión	ISO 3386-1	De 6 a 1k/Pa
Permeabilidad al vapor	DIN 52615	De 1 a 2
Resistencia al flujo de aire	DIN EN 29053	De 8 a 20 kNs/m ⁴
Estabilidad a la temperatura a largo plazo		180° C
Estabilidad a la temperatura a corto plazo		220° C

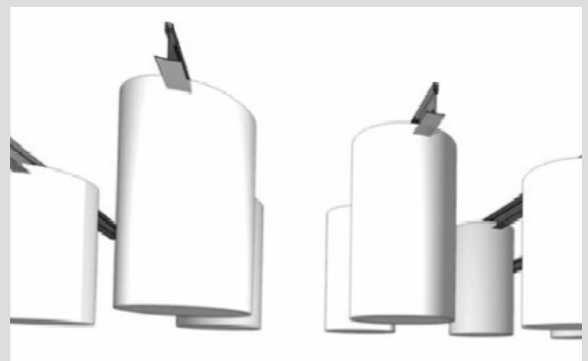
Instalación mediante cable



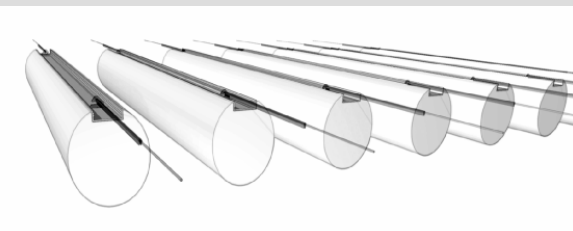
Sistemas de Colocación



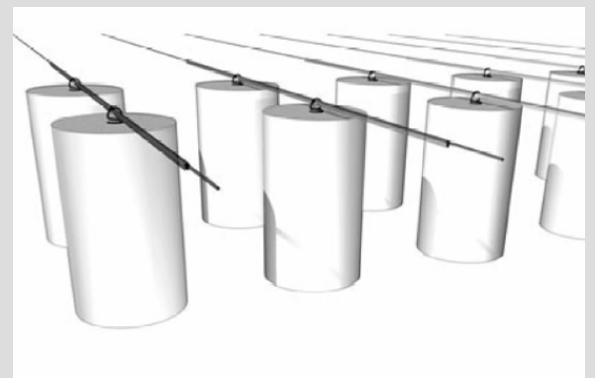
Absorber rondo T para colocación en perfil T Horizontal



Absorber rondo T para colocación en perfil T Vertical



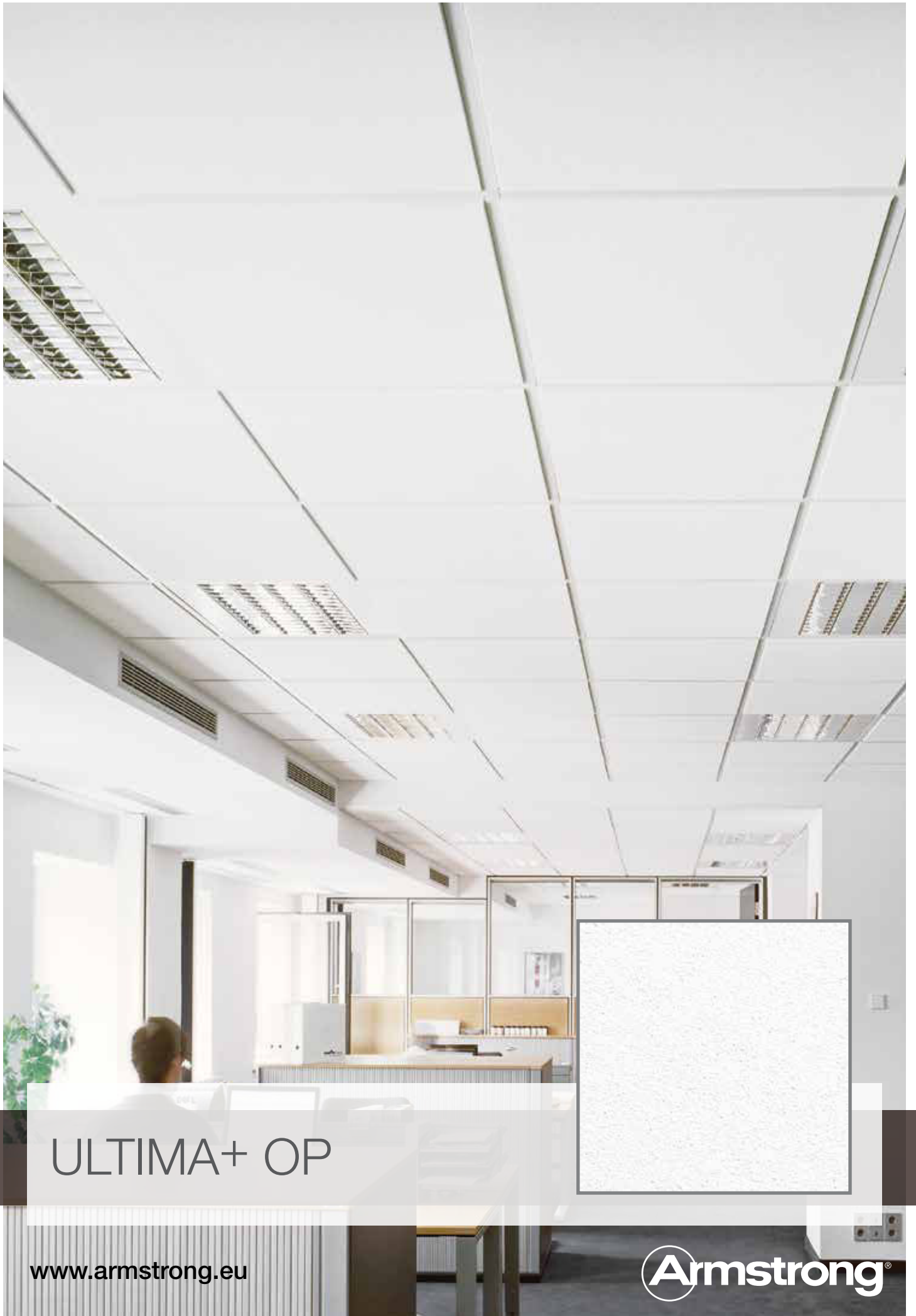
Absorber rondo S pieza de aluminio con ganchos, se instalan colgados a un cable de acero sujeto a los extremos.



Absorber Rondo S Vertical, con gancho, se instala colgado con un gancho a un cable de acero o varilla.



Absorber rondo con varilla central de aluminio, se instala con cable de acero sujeto a los extremos



ULTIMA+ OP

www.armstrong.eu

Armstrong[®]

ULTIMA+ OP




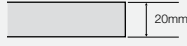
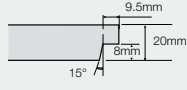
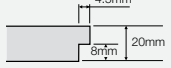


Recycled Content

Light Reflectance

Concentration

ULTIMA+ OP

	BOARD	TEGULAR	MICROLOOK 90
			
	Prelude XL ² /TLX 24 mm Prelude Sixty ²	Prelude XL ² /TLX 24 mm Prelude Sixty ²	Prelude XL ² /TL 15 mm Interlude XL ² 15 mm Silhouette XL ² 15 mm
			
600 x 600 x 20 mm	7682 M	7678 M	7685 M
625 x 625 x 20 mm	7682 D	7678 D	7685 D
675 x 675 x 20 mm	7683 M	7679 M	7686 M
600 x 1200 x 20 mm	7684 M	7680 M	7687 M



EN ISO 354 & EN ISO 11654

α_w	NRC	125	250	500	1000	2000	4000	Hz	α_p
1.00	0.95	0.40	0.80	1.00	0.95	1.00	1.00		

Sound Absorption Class = A



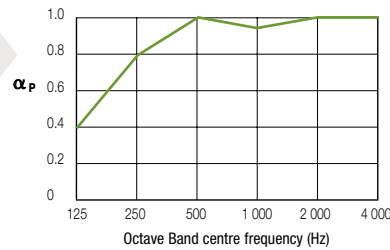
EN ISO 10848-2 & EN ISO 717-1

D_{nfw}	25 dB
-----------	-------



EN ISO 140-3 & EN ISO 717-1

R_w	10 dB
-------	-------



EEA	Euroclass A2-s1, d0
EN 13501-1	

RUS	KM1 (G1, V1, D1, T1)
FZ 123	



EN 12667 & ISO 8301

$\lambda = 0.037 \text{ W/m K}$



95 % RH



ISO 14644-1

ISO 5



$\approx 3.7 \text{ kg/m}^2$



Please contact our Armstrong Technical Sales Group for further details.

www.armstrong.eu



Armstrong®

ANEXO III: PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE I-SIMPA



I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D sound propagation numerical codes

Judicaël Picaut, Nicolas Fortin

► **To cite this version:**

Judicaël Picaut, Nicolas Fortin. I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D sound propagation numerical codes. Société Française d'Acoustique. Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France. 2012. <hal-00810893>

HAL Id: hal-00810893

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00810893>

Submitted on 23 Apr 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ACOUSTICS 2012

**I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D
sound propagation numerical codes**

J. Picaut and N. Fortin

Département Infrastructures et Mobilité (IFSTTAR/IM), Route de Bouaye, CS4, 44344
Bouguenais Cedex
judicael.picaut@ifsttar.fr

Whatever for indoor noise applications (room acoustics, noise in vehicles...) or sound propagation in the environment (open field, urban areas...), many numerical codes have been developed by researchers. Most of them have many common aspects, like the definition of the domain geometry and the materials (boundary conditions, impedance...), the definition of sound sources and of receivers (position, spectrum, directivity...). Moreover, they all have the same objective that is to predict the sound field within the domain, with several acoustics indicators, like acoustic pressure or sound levels, and through several representations (impulse response, spectrum...). In order to make easier the use of such codes (pre and post-processing of data), as well as for facilitating comparisons between models, a specific graphical user interface (I-Simpa) was developed specifically. In addition to previously cited facilities, this tool allows users to implement their own numerical models, as well as to manipulate the interface and to develop specific treatments by creating built-in Python(TM) scripts. As example, the paper will present the implementation of an energetic model for room acoustics predictions. The final objective is to create a community around this tool in order to exchange numerical codes, scripts, information...

1 Introduction

I-Simpa was initiated during a research project funded par the French Environment and Energy Management Agency (ADEME), in collaboration with the University of La Rochelle, the French institute of sciences and technology for transport, development and networks (Ifsttar), the University of Poitiers, and a French Engineering department SerdB. The main objective was to develop a new prediction model for the sound propagation in complex environments (indoor and outdoor). During the project, a graphical user interface (GUI) was developed specifically as a pre and post-processor of the prediction model. At a later time, the developers decided to generalize the GUI, in order to host other numerical calculation codes for 3D complex environments (see section 3.2).

Although I-Simpa is well adapted for energetic models (ray-tracing, sound-particle tracing, theory of reverberation...), it can be extended to use undulatory approaches. Classical applications are room and building acoustics, environmental noise and industrial noise, but it can be easily extend to other applications concerning the sound propagation in 3D environments (interior of vehicle, sound in cavities...).

The main concepts of I-Simpa are the following:

- a functional GUI: elements and components are organized in tree structures, to easily access to all information, parameters and properties. Many features are proposed for helping users;
- an "open" system: all information and data are organized in spreadsheets that can be displayed, exported, copied;
- an "open" tool: each user can integrate its own numerical propagation code, develop its own functionalities within the interface for its own applications.

2 Presentation of I-Simpa

2.1 Graphical user interface

The interface is organized on a main window, with a menu bar and a toolbar (figure 1), which contains a set of dockable/undockable sub-windows:

- The first window, titled "Project", is decomposed into three tabs, which should correspond to the three

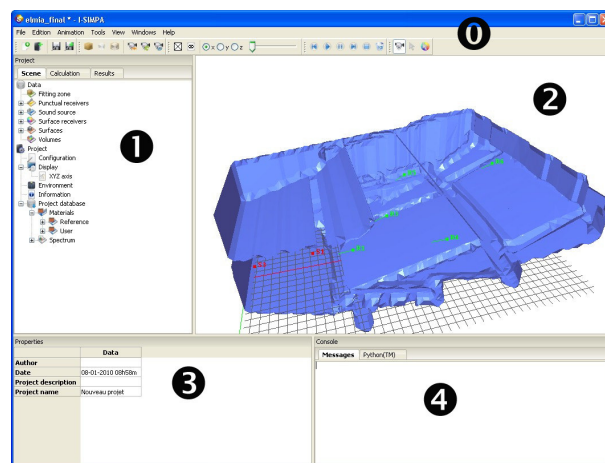


Figure 1: I-Simpa interface (with dockable/undockable windows): illustration with a room acoustics application.

steps in conducting a project: preparing the 3D scene (tab "Scene"), running the calculation code (tab "Calculation"), showing/processing results (tab "Results"). The first tab "Scene" allows to define all acoustical characteristics that are needed for running the project, such as boundary properties, sound sources, receivers (see section 2.2), etc. In the second tab "Calculation", users can choose the numerical code and define all calculation parameters. In the last tab "Results", all numerical results are showed and can be post-processed if necessary. All data in each tab are organizing in one or more trees.

- The second window shows the 3D geometry, with different views (with/without lines, interior/exterior/no surfaces, with/without material colors).
- The third windows, titled "Properties", gives all properties of an element, and is activated by selecting the corresponding element in one of the data trees.
- The fourth window is decomposed in two tabs. The first one ("Console") gives internal messages from I-Simpa or external messages from the calculation codes. The second one ("Python") allows to use PythonTM command lines to manipulate data.

2.2 Data project (input data)

As I-Simpa was firstly developed to use calculation codes based on energetic models, main features correspond

to common numerical codes of sound propagation based, for example, on ray-tracing approaches. However, new input data and features can be added using PythonTMscripts (see section 3.1).

Running a project requires to follow several steps:

1. importing 3D scene geometry (with triangle meshing): user can import 3D models with extension 3DS (3D Studio), STL (stereolithography), PLY (Stanford) and POLY (TetGen, see tetgen.org). A manual design of parallelepipedic models is also proposed. Specific importation tools have also been developed in order to correct model defaults (see section 2.3).
2. applying boundary materials: once the model is loaded, users have to assign materials (absorption, transmission loss, scattering, reflection law...) and information (mass density, resistivity...) for each surface element of the 3D scene. Data can be imported from the internal database or from external database. The internal database can also be modified by users.
3. adding punctual sound sources: the next step is to add sound sources in the model and to define all acoustic parameters (spectrum, directivity, delay...);
4. adding punctual and surface receivers: in order to compute several acoustical parameters, it must be necessary to locate receivers in the model. Punctual receivers as well as surface receivers (on the surface model or on arbitrary 2D planes) can be considered.
5. adding fitting zones: for some applications, such as for noise prediction in industrial halls, fitting zones with probabilistic parameters (mean free path, absorption, diffusion law) can be considered.
6. giving environmental data, such as atmospheric conditions and meteorological parameters.

2.3 Model correction

A specific attention has been paid on the model importation. Indeed, some calculation codes require that 3D-models must be closed and without "default", which is not still possible in practice. Two importation tools have been added in I-Simpa in order to correct models that don't respect these conditions, called Piecewise Linear Complex (PLC) constraints.

The first one, called "Preprocess" is applied when the model is closed, but contains intersections and discontinuities between faces (figure 2). In this case, the algorithm identifies intersections between faces and produces new faces to match with the PLC constraints. Two cases are considered:

- there is a non-coplanar intersection between two faces (*i.e.* a face intersects another one). Then each side of the intersection of the two faces is split into several faces. The final shape is the same, but the PLC constraints are respected;
- there is a discontinuity between two faces (*i.e.* they don't share the same edge), then, faces are split in two faces at each corresponding vertex.

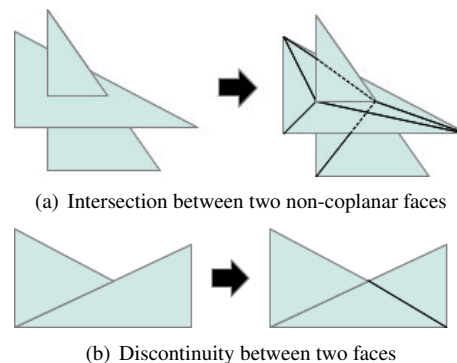
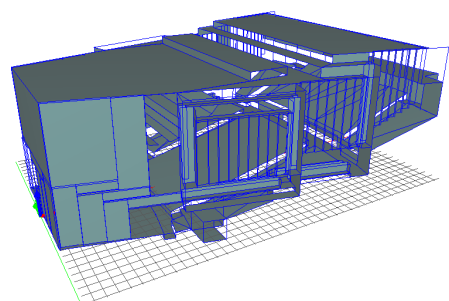


Figure 2: Model corrections: faces intersection and discontinuity.

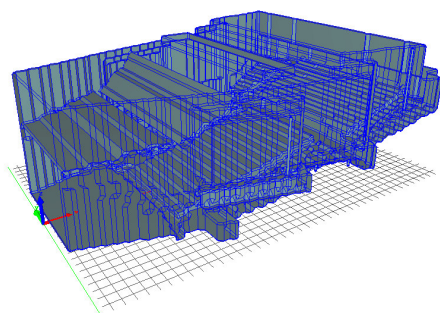
The second one is applied when the model contains many faces, with unknown holes and coplanar faces in intersection. In this case, user cannot reasonably fix by "hand" such geometry errors with a 3D modeling software. This issue is more complicated, and has involved the development of an advanced algorithm, called "mesh approximation", with five steps:

1. Voxelization: a voxel is the three-dimensional form of a pixel. The voxelization process creates a 3D matrix where cells are defined by their size and position in space. When a cell is in collision with the model surface the value of the cell is modified. This algorithm uses single dimension aggregation for processing speed (in the next step) and memory load reduction. Instead of store x times the same value of matrix on the K dimension the algorithm stores only a single value with an exponent x . The user must specify the resolution of the voxelization in model unit, smaller resolution giving more output faces. To remove holes that are present in the model, the resolution of the voxelization must be slightly higher than the maximum size of holes;
2. Volume identification: the matrix output of the voxelization contains set and unset cells. Unset cells form region separated by set cells. This step updates the matrix with a volume index value equal to the first empty cell found, and propagates through cell neighbors until it reaches non empty cells. This step is repeated until an empty cell cannot be found;
3. Marching cube algorithm: the previous step fills holes, but the volumetric model that is obtained must be translated to the surface model. The marching cube algorithm [1] is a well known method to convert 3D-scalar field into an iso-surface polygonal mesh;
4. Vertex translation: the objective is to refine the output of the marching cube step to get closer to the original model. Each vertex of the marching cube mesh is then translated to the closest original model face.
5. Triangle decimation: this step allows to reduce the number of faces by merging co-planar faces. This is done by the progressive mesh face decimation algorithm [2] that collapses edges and topology-preserves the mesh.

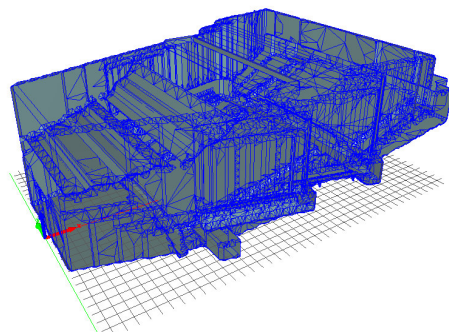
Figure 3 shows an example of the mesh approximation on the Elmia Concert Hall model (see http://www.ptb.de/en/org/1/16/163/roundrobin/roundrob2_1.htm) used during the Round Robin II [3]. The original model contains intersections and discontinuity between faces, wrong face orientations and holes. The final step gives a model without default, well oriented faces, close to the original one, which can be used with numerical codes requiring high constrained models.



(a) Original model



(b) Marching cube algorithm



(c) Vertex translation

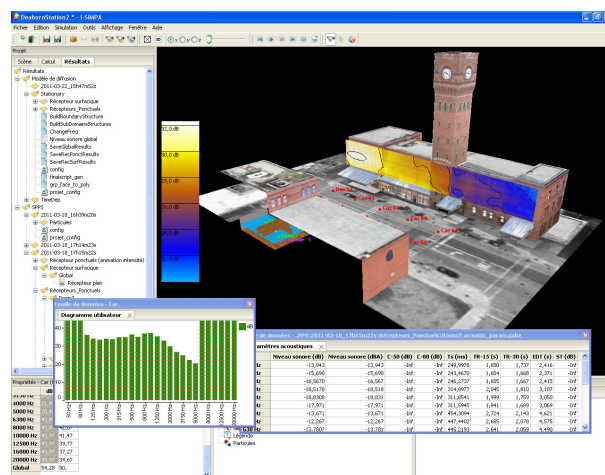
Figure 3: Generation of an approximate 3D model.

2.4 Results (output data)

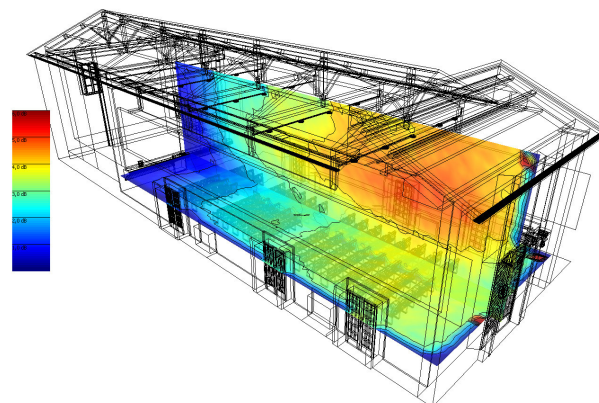
Once a numerical code is linked with I-Simpa, user can run calculations. If the format of the output data files follows the I-Simpa I/O format, all results can be displayed in the "Results" tabs. Results are organized on a tree structure that is the exact image of the folders/files tree structure on the hard disk.

In function of the output file extensions, specific post-processing are allowed by I-Simpa. At the present time, since the interface was initially developed for energetic-based models, room acoustics parameters can be calculated according to the ISO 3382-1 standard [4], such as reverberation times, Clarity, Definition, Early

support, Centre time, Strength, Early Lateral Energy Fraction, Late Lateral Sound Level. In addition, several results can be displayed such as echogram and Schroeder integration curves, intensity vectors, sound map (stationary, time-varying, cumulated values), iso-contour (for surface receivers), ray-tracing and particle-tracing animations (figure 4) on highly customizable graphics. All results can also be displayed on spreadsheets and are free to be exported out of I-Simpa (by copy/paste or using CSV files).



(a)



(b)

Figure 4: Illustration of the use of I-Simpa with a sound particle tracing code (SPPS) for outdoor/indoor applications: graphical and spreadsheet displays.

3 Extensions

One main concept of I-Simpa is to be "open" (figure 5), in order that people can use the GUI for their own applications, which means that new functionalities and other numerical codes can be considered (using user toolboxes). In addition, the GUI can be adapted for each user, by creating new language translation files (for internationalization) or changing the appearance of graphic objects.

3.1 Python™ commands and toolboxes

Users can extend the capabilities of I-Simpa by writing their own Python™ commands and scripts, using a specific Python™ library, called `uicontrol`, which contains functions that are interpreted by I-Simpa. This allows to add new

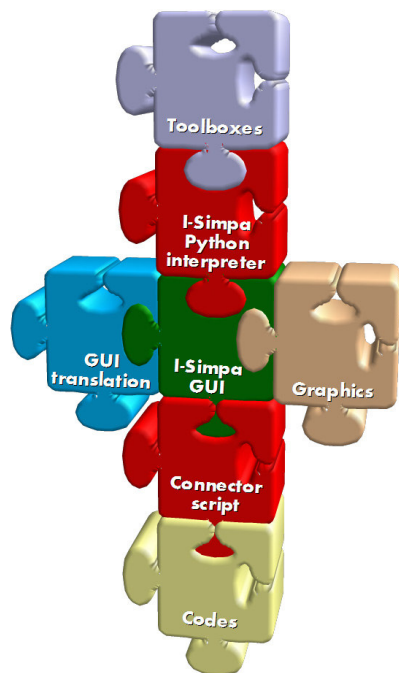


Figure 5: I-Simpa extensions.

functionalities within the interface, manipulate data and I/O files, realize new calculations and representations, create automatic processes, develop specific applications, link I-Simpa to other calculation codes or softwares.

A Python™ console is available within I-Simpa interface: users can write commands within the console to execute specific but simple actions. For long or complicated commands, users can develop and run scripts instead, and create toolboxes.

In practice, users can easily add elements on the data trees and add new functionalities when right-clicking on tree elements (popup menu), etc. After developing their own scripts, they can create toolboxes for running specific actions. By default (and as examples), I-Simpa is given with toolboxes for manipulating sound sources and receivers (translation, rotation...), creating and running a jobs list, and more.

Adding a toolbox within I-Simpa consists only in creating sub-folders in the UserScript folder located in I-Simpa installation folder with a file `__ui_startup.py` file inside, containing command line `import toolbox_name` for importing the module named `toolbox_name`. A second file `__init__.py` must be created in the same sub-folder and should contains the specific script of the new toolbox.

For instance the listing at figure 6 shows the script in the `__init__.py` file for adding an action in the popup menu that is activated when right clicking on a group of sound sources. It allows to activate or deactivate all sound sources in the group simultaneously. Others examples are also given in the I-Simpa documentation [5]. In this example, a specific class is creates and then load in I-Simpa using the last command `ctrl.application.register_menu_manager` that links the class with the corresponding tree element (*i.e.* a group of sound sources) with I-Simpa.

3.2 Calculation codes

By default, I-Simpa is given with two calculation codes, which are appropriate for room acoustics applications (TCR and SPPS) as well as environmental and industrial noise (SPPS). The TCR code is a simple implementation of the classical theory of reverberation and can be applied for calculating simple room acoustics parameters (for a single room). The SPPS code is based on particle-tracing method, similar to classical ray-tracing methods, and is well adapting for calculating sound fields in complex environments [6]. In addition, I-Simpa has been designed in order to host any calculation codes of sound propagation in 3D model. Although, I-Simpa is well adapted to energetic sound propagation model (like TCR and SPPS), it can be extend to undulatory approaches. As example, the integration of the transmission line matrix method (TLM) in I-Simpa is currently in progress [7].

The use of external codes in I-Simpa requires (1) that the calculation code can use 3D-models with triangular faces and (2) that the executable file can be called using a bash command line. In practice, in order to add the calculation code in I-Simpa (*i.e.* in the tab "Calculation" of the sub-windows "Project"), users have to declare the new code using a Python™ script in the UserScript folder containing the corresponding Python™ commands for importing the code. In addition users have to put the executable file in a new folder within the core folder that is located in the I-Simpa installation folder. Lastly, users have to write an connector script in order that I/O files between I-Simpa and the code be compatible. The last action can be done by using two librairies `libsimpa` (for Python™ programming) and `libinterface` (for C++ programming), designed for manipulating I/O I-Simpa files.

3.3 GUI translation (internationalization)

I-Simpa is designed for international users. At the present time, I-Simpa provides translations for French and English users. As I-Simpa uses language files for translation, users can propose new translations (*i.e.* in other languages) or corrections of an existing translation. In addition, users who develop their own Python™ scripts can also use language files in order to internationalize their own applications.

In I-Simpa coding, specific functions have been used in order that expressions can be internationalized. This is for example the case at figure 6 for the `"_("Enable")"` expression that can be translated *a posteriori* in another language. After compiling the code with a specific tool (like `Poedit`, see www.poedit.net), it produces a Portable Object file containing translations. Then, the `.po` file is compiled in a Machine Object file (`.mo` file) in order to be readable by I-Simpa. For each language (*i.e.* French, English...), the corresponding `.mo` file is located in a folder language at the root directory of I-Simpa installation.

3.4 Graphics

In spite of the poor interest, I-Simpa allows to replace the existing toolbar and menu icons by user icons, by replacing the corresponding graphics files in the `Bitmaps` folder of the root directory of I-Simpa by new ones. Filenames are sufficiently explicite to identify each icon and button; the first word in the filename define the category of the icon: `tree`

```

class manager:
    # This class make the user able to enable or disable a group of sound sources with one click only
    def __init__(self):
        #Constructor. Register the two new menu functions
        self.enable_grp_sourcesid=uictrl.application.register_event(self.enable_grp_sources)
        self.disable_grp_sourcesid=uictrl.application.register_event(self.disable_grp_sources)
    def getmenu(self, typeel, idel, menu):
        #Called by the user interface. The list menu structure contains the current implemented functions.
        submenu=[(uictrl._("Enable"),self.enable_grp_sourcesid),(uictrl._("Disable"),self.
            disable_grp_sourcesid)]

        menu.insert(2,(uictrl._("All emitters"), submenu))
        menu.insert(2,()) #Add a separator
        return True
    def set_grp_src_activation(self, idgrp, newstate):
        grpsrc=uictrl.element(idgrp)
        all_property=grpsrc.getallemlementbytype(uictrl.element_type.
            ELEMENT_TYPE_SCENE_SOURCES_SOURCE_PROPRIETES)

        for prop in all_property:
            uictrl.element(prop).updateboolconfig("enable",newstate)
    def enable_grp_sources(self, idgrp):
        #Called by user interface when the user click on the enable menu item
        self.set_grp_src_activation(idgrp,True)
    def disable_grp_sources(self, idgrp):
        #Called by user interface when the user click on the disable menu item
        self.set_grp_src_activation(idgrp,False)

#Register the toolbox in I-SIMPA: this toolbox is linked with sources groups
uictrl.application.register_menu_manager(uictrl.element_type.ELEMENT_TYPE_SCENE_SOURCES, manager())

```

Figure 6: Script example: activating/desactivating a group of sound sources.

(an element in the tree structure), popup (an icon in a menu popup), toolbar (an icon in the toolbar).

In addition, new color palettes for the representation of sound maps can be added within I-Simpa. Palettes are defined using the GIMP file format with the extension .gpl (see <http://www.gimp.org/>).

4 Support and community

As I-Simpa has been developed "by researchers for researchers", the objective is to create a community around the software, in order to share information, scripts, toolboxes, applications, translation files, etc. For that purpose, a specific web site (i-simpa.ifsttar.fr) has been realized with several tools:

- Request and bug tracking: users can report malfunctions, errors, bugs or simply requests using the tracking system;
- Forums: several forums have been opened in order to share information and find answers to problem;
- Showcases: users can share I-Simpa projects and illustrations/screenshots.

5 Conclusion

With I-Simpa, authors have tried to develop a software for their own need, mainly in order to simplify the use and the development of sound propagation model in 3D complex environments. Since such software can also be of interest for the whole acousticians' community, authors have decided to freely share I-Simpa and to propose tools in order that users can use I-Simpa for their own applications. At this step, the objective is to create a specific community around I-Simpa in

order to share works and to develop new versions of I-Simpa that will be enhanced by the community.

References

- [1] W.E. Lorensen, H.E. Cline, "Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm", *Computer Graphics* **21**(4), 163-169 (1987)
- [2] H. Hoppe, "Progressive meshes", *SIGGRAPH 96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* **30**, ACM, 1996.
- [3] I. Bork, "A comparison of room simulation software. The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation", *Acustica* **86**, 943-956 (2002)
- [4] International Organization for Standardization, ISO 3382-1:2009: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces" (2009)
- [5] J. Picaut, N. Fortin, *Manuel d'utilisation de I-Simpa* (in French), Ifsttar, Université de la Rochelle (2011)
- [6] J. Picaut, N. Fortin, "SPPS, a particle-tracing numerical code for indoor and outdoor sound propagation prediction", *Acoustics 2012 Nantes Conference* (2012)
- [7] G. Guillaume, J. Picaut, G. Dutilleux, B. Gauvreau, "Time-domain impedance formulation for transmission line matrix modelling of outdoor sound propagation", *Journal of Sound and Vibration* **330**(26), 6467-6481 (2011)

ANEXO IV: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DEL SOFTWARE I-SIMPA

Sound Field Modeling in Architectural Acoustics using a Diffusion Equation Based Model

Nicolas Fortin^{1,2}, Judicaël Picaut^{*2}, Alexis Billon³, Vincent Valeau⁴ and Anas Sakout¹

¹University of La Rochelle, ²LCPC, ³University of Liège, ⁴Université de Poitiers-ENSMA-CNRS

*Corresponding author: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France, Judicael.Picaut@lcpc.fr

Abstract: In this paper, an implementation of a model for room-acoustic predictions in COMSOL Multiphysics is presented. The model (called diffusion model) is based on the solving of diffusion equations instead of classical wave equations and allows simulating the sound propagation in complex geometries at high frequency. Instead of using COMSOL Multiphysics to solve directly the problem, a specific tool has been developed. It is composed of a user-friendly interface (I-Simpa) which manipulates all the physical data of the problem (geometries, acoustic properties and elements...) and generates an interoperability script to execute COMSOL Multiphysics via the generation of .m file scripts. Then, numerical results are processed by I-Simpa for the acoustic post-treatment and results display, like sound levels, reverberation times...

Keywords: Room-acoustic, diffusion equation model, script file generation.

1. Introduction

The modeling of sound-fields in rooms has attracted considerable attention in recent decades. For “real rooms”, i.e., with complex shapes, partially diffusely reflecting surfaces, coupled spaces, fitted zones, computer methods such as the ray-tracing model have been developed and are now very popular. However, by increasing the complexity of the room shape, the computation time increases dramatically and can take several hours for engineering accuracy.

In recent years, an alternative approach to predict the diffuse sound field in arbitrary rooms has been proposed mainly by the authors¹⁻⁷ and others contributors⁸⁻¹⁰. This model, based on a physical analogy with the diffusion of particles in a scattering medium, was derived to predict the spatial variations of the reverberant sound field in rooms, for both steady-state and time-varying sources. The model has been applied with success to empty homogeneous rooms, long

enclosures, industrial halls with fitted zones, coupled spaces, and allows the modeling of acoustic transmission through walls, mixed diffuse-specular reflection at walls, as well as atmospheric absorption.

In order to solve the diffusion equations of the model, authors have initially used the FEMLAB package together with MATLAB®. More recently, the authors have upgraded the diffusion model to use COMSOL Multiphysics, in an equivalent manner as already presented by Jing and Xiang.¹¹⁻¹² However, at this time, the analogy between the acoustical problem (material, sound sources, receivers, fitting zones...) and the diffusion problem (see Section 2) has to be carried out manually in COMSOL Multiphysics. In an operational point of view, an acoustician in a design office should be able to use the diffusion model without knowledge of COMSOL Multiphysics, like classical acoustic software. So, the development of a specific user interface that manages all input acoustic data and runs COMSOL Multiphysics in background (see section 3) is necessary.

2. Acoustic diffusion model

2.1 Diffusion equation

The present study uses a model initially derived by Ollendorff and further developed by the authors¹ for modeling the acoustics of enclosed spaces with diffusely reflecting surfaces. The model is based on an analogy between the sound diffusion in a room and the diffusion of particles in a medium containing spherical scattering obstacles.

This analogy requires only that the mean free path is equivalent for both diffusion media. In room acoustics, a common analytical expression for the mean free path in a room with diffusely reflecting boundaries is $\lambda = 4V/S$, where V and S are the volume and the surface of the room. Then, given the slow rates of change with time involved in diffusion phenomena, the local

particle-density flux $\mathbf{J}(\mathbf{r},t)$ can be approximated as the gradient of the particle density,

$$\mathbf{J}(\mathbf{r},t) = -D \mathbf{grad} w(\mathbf{r},t). \quad (1)$$

Under this assumption, the particle density can be shown to be the solution of a diffusion equation. The analogy with room acoustics allows the assumption that the acoustic energy density in the room $w(\mathbf{r},t)$ at a position \mathbf{r} and time t is governed by the diffusion equation,

$$\frac{\partial w(\mathbf{r},t)}{\partial t} - D \Delta w(\mathbf{r},t) = 0, \quad (2)$$

where Δ is the Laplace operator and D is the so-called diffusion constant, defined as

$$D = \frac{\lambda c}{3}. \quad (3)$$

2.2 Absorption at walls

The last diffusion equation (3) expresses the diffuse propagation within the enclosure without considering absorption by the boundaries S . The energy exchanges at a diffusely reflecting surface can be described using the following form:¹

$$\mathbf{J}(\mathbf{r},t) \cdot \mathbf{n} = -D \frac{\partial w(\mathbf{r},t)}{\partial \mathbf{n}} = h w(\mathbf{r},t), \quad (4)$$

where h is the so-called exchange coefficient. Under this condition, the local energy flux at boundaries is assumed to be proportional to the local energy density. Several expressions have been proposed to model this absorption phenomenon, such as:⁴

$$h = \frac{c\alpha}{4}, \quad (5)$$

for low absorption (α being the Sabine's absorption coefficient),

$$h = -\frac{c \ln(1-\alpha)}{4}, \quad (6)$$

for higher absorption (Eyring absorption). However, the last expression presents a singularity for $\alpha=1$ (total absorption). A modified boundary condition has then been proposed by Jing and Xiang, as:⁹

$$h = -\frac{c\alpha}{2(2-\alpha)}. \quad (7)$$

2.3 Transmission through walls

The complete phenomenon of the reverberant sound field transmission between rooms connected through partition walls can be considered in order to predict the acoustic energy distribution in networks of rooms, for both diffuse and non diffuse configurations⁶.

Let us consider for example the case of two rooms coupled through a coupling area (part of the partition wall). The first room (the source room, i.e. containing the sound source) of volume V_1 and surface area S_1 (without the coupling area) is separated from the second room (the adjacent room) of volume V_2 and surface area S_2 (without the coupling area) by a partition wall. The coupling area that permits sound transmission is defined by its surface S_{12} and its absorption coefficient α_{12} . By considering internal losses in the partition wall through the dissipation coefficient δ , α_{12} can be written as a function of the transmission loss R (or the transmission coefficient $\tau=10^{-R/10}$) such as $\alpha_{12} = \delta + \tau$.

Then, a diffusion equation similar to equation (2) must be considered for each room (i.e. each one with its own density energy, w_1 and w_2 in this example). Moreover the boundary equation (4) must be modified as:

$$D_1 \frac{\partial w_1}{\partial \mathbf{n}_1} + h_{12} w_1 = \frac{\tau c}{4} w_2, \quad (8)$$

on the source room side, and

$$D_2 \frac{\partial w_2}{\partial \mathbf{n}_2} + h_{21} w_2 = \frac{\tau c}{4} w_1, \quad (9)$$

on the adjacent room side, where h_{12} is the exchange coefficient of the wall partition.

2.4 Boundary conditions: mixed diffuse-specular wall reflection

Mixed diffuse and specular reflections are defined by the diffusion coefficient s (ratio between diffuse and total energy reflected at the room surface). To simulate this phenomenon, the diffusion constant D can be modified as follows:⁷

$$D_m = K \times D, \quad (10)$$

where K is an empirical correction, verifying the empirical relation:

$$K = 2.238 \ln(s) + 1.549. \quad (11)$$

2.5 Atmospheric absorption

In the diffusion equation (2), the atmospheric attenuation is not taken into account, although this phenomenon can be significant at high frequencies, particularly for large enclosures. Following the same approach as the one for deriving the diffusion equation (2), the atmospheric attenuation term can be introduced in the model, leading to a modified expression of the diffusion constant, noted now D' :⁵

$$D' = \frac{D}{1 + m\lambda} \quad (12)$$

where m is the coefficient of atmospheric attenuation (in m^{-1}). However, the sound absorption being usually very small over a mean free path, one can consider thereafter that $D' \approx D$.

Similarly, by introducing the atmospheric attenuation term in the derivation of the diffusion model, the diffusion equation for the energy density in the room becomes

$$\frac{\partial w}{\partial t} - D\Delta w + mcw = 0. \quad (13)$$

2.6 Fitting zones

The diffusion model can also be modified for estimating the sound field in fitted rooms, i.e. containing many obstacles (machines, stockpiles, benches etc., i.e. the “fittings”), such as industrial workrooms, classrooms, offices etc. These obstacles scatter and absorb sound, so that the acoustic behavior of the fitted room is different from an empty room.

The modified diffusion model combines then two diffusion approaches (one for the diffusion by objects and one for the diffusion by room surfaces) into a single diffusion process.

In the following, the variables referring to the scattering objects, or fittings, will be denoted by the subscript f , and the variables referring to the room will be denoted by the subscript r . Moreover, let us consider that the scatterers are modeled statistically by their density n_f , their average scattering cross-section Q_f and their absorption coefficient α_f . For a propagation medium containing only scattering obstacles – i.e. in a free field with obstacles – the mean free path for a particle between two collisions is $\lambda_f = 1/Q_f n_f$. For an empty room, the mean free path for a particle between two collisions is $\lambda_r =$

$1/Q_r n_r = 4V/S \equiv \lambda$, as expressed before. Lastly, one can show that the diffusion equation (2) can be modified in order to take the fitting into account as:³

$$\frac{\partial w}{\partial t} - D_t \Delta w + \frac{c\alpha_f}{\lambda_f} w = 0, \quad (14)$$

with the modified diffusion constant

$$D_t = \frac{D_f D_r}{D_f + D_r}, \quad (15)$$

where $D_r \equiv D$ is the classical diffusion constant.

3. User interface I-Simpa

3.1 Principle

On a practical point of view (i.e. for COMSOL Multiphysics users), the numerical definition of the problem could be carried out from the “Stationary analysis” or the “Time-dependent analysis” in the “Coefficient form” option of the “PDE Modes” located in the “Applications Modes” of the “Model Navigator”, and then by setting the corresponding parameters (D , h , m) in the “Subdomain Settings” and the “Boundary Settings” windows, for each subdomain and boundary.

For coupled rooms, the numerical system of diffusion equations (one diffusion equation for each coupled room), with the associated boundary conditions for each side, must be solved numerically as coupled equations. An iterative solving of this set of equations is then required.

However, as presented in the introduction and depicted in figure 1, a specific interface (called I-Simpa) with associated Python™ scripts have been developed in order that all calculations with COMSOL Multiphysics are realized in batch mode, using .m script files generated by I-Simpa. Then all data are manipulated through exchange-files and interpreted by I-Simpa.

3.2 I-Simpa functionalities

I-Simpa is a GUI developed by the authors (1) to run several models of sound propagation (particularly the diffusion model), (2) to import and to manipulate geometries (3ds format), (3) to manage all acoustics data (like sound sources, acoustic receivers, materials, fitting zones and others properties, which are needed for the chosen sound propagation calculation..), and lastly (4) to carry out the post-processing of numerical results in order to obtain the main usual acoustical parameters (sound pressure level, room acoustics parameters, sound decay curves, energy flow...). An example application of I-Simpa (a network of acoustically coupled rooms) is given in figure 2, with its equivalent COMSOL Multiphysics visualization.

3.3 Script generation (.m file)

When choosing the diffusion model in the I-Simpa interface, a Python™ script is used to generate the .m file script that can be “understood” by COMSOL Multiphysics and run in batch mode (with the `comsolbatch.exe` executable file). The following steps are considered (the script example that is given below represents a simple cubic room with one sound source. Note also that some lines are broken (symbol [...]) in order to limit the number of lines in the example):

1. Header generation;

```
% COMSOL Multiphysics Model M-file
% Generated by I-Simpa, $Date:
2009/09/19 16:09:48 $)
```

2. Definition of constants (speed of sound; reference pressure; volume, surface, mean free path and diffusion coefficient for each room; source size...)

```
fem.const = {'cel','343.2', ...
'Vol','60.0000009537', ...
'S','94.0', ...
'lamb','4*Vol/S', ...
'Dif','lamb*cel/3', ...
'r_source','0.2', ...
'V_source','4/3*pi*r_source^3', ...
'Pref','2e-05', ...
'rho','1.2' ...
};
disp('Building model');
```

3. Vertices definition of the room geometry in a Nx3 array, noted `verts` (N vertices with 3 coordinates `x`, `y` and `z`). The .3ds file if converted in a geometry (vertices and faces) usable in COMSOL Multiphysics;

```
verts=[5.000000,-0.000000,-0.000000;
[...];];
```

4. Faces definition of the room geometry: for example in an array `facearr` from `verts`;

```
facearr={
grp_face_to_poly(verts,[1,2,3;1,3,4])
[...];};
```

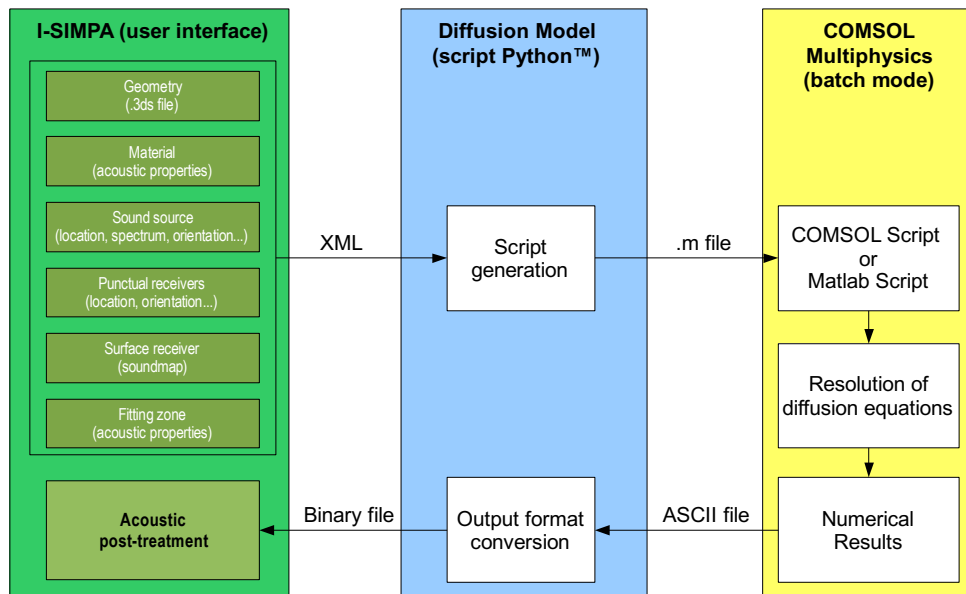


Figure 1. Functional diagram between the user interface I-Simpa (with Python™ scripts) and COMSOL Multiphysics.

5. Subdomains definition: each room, fitted zone, acoustic sources are defined separately in a structure array `s`. In the diffusion model, sound sources are represented by spheres with a given energy density;

```
s1=sphere3('r_source','pos',{2.000000
',2.000000','2.000000'},'axis',{'0','
0','1'},'rot','0','const',fem.const);
dom0=geomcoerce('solid',facearr([1, 2,
3, 4, 5, 6]));
disp('Model builded.');
```

```
clear s
s.objs={s1,dm0};
s.name={'Domaine de s1','Domaine de
dm0'};
s.tags={'s1','dm0'};
```

6. Definition of the list of materials in a structure array `mat.materials` (PDE coefficients q , h and g , and type of boundary conditions (Neumann or Dirichlet) for each face). Note that material properties depend on the frequency band);

```
mat.materials.q={{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},{'c
el*0.0400/4','cel*0.0400/4',[...]}};
mat.materials.name={...
'Materiau sources','mat id:101',...
'mat id:100','mat id:0'};
mat.materials.h={1,0,0,0};
mat.materials.type={'neu','dir',...
'dir','dir'};
mat.materials.g={0,0,0,0};
mat.assoc={1,1,1,1,1,1,1, ...
[2, 3, 3, 3, 3, 3]};
mat.faces={1,[1, 2, 3, 4, 5, 6]};
```

7. Equation definition for each subdomain: (PDE coefficients f , a , da and c);

```
vol.names= {'Domaine de s1',...
'Domaine de dm0'};
vol.f=...
{'(10^(65.68/10))/V_source',[...]};
vol.a=...
{0,{'0.000018*cel',[...]}};
vol.da= {0,0};
vol.c= {'Dif',[1239.46057962,[...]}};
vol.init= {0,0};
vol.assoc={1,2};
```

8. Definition of 2D surface plots for representing soundmaps:

```
rec_surf.faces={};
rec_surf.appl={};
rec_surf.names=[];
rec_surf.freqlbl={'50 Hz\','63
Hz\',[...]};
rec_surf.folderrsurf='recepteurs\';
```

9. Definition of the punctual receivers;

```
rec_poncts.positions={1.000000;...
3.000000;1.700000}};
rec_poncts.names={'Récepteur 1\'};
rec_poncts.freqlbl={'50','63',[...]}};
rec_poncts.folderrponct=...
'Recepteurs_Ponctuels\';
rec_poncts.appl={'u'};
```

10. Geometry analysis :

```
fem.draw=struct('s',s);
[fem.geom,st,ft]=...
geomcsg(s.objs,facearr);
fem.geom=geomcsg(fem);
Meshing initialisation:
fem.mesh=meshinit(fem,'hauto',5);
```

11. Mesh initialisation

```
fem.mesh=meshinit(fem,'hauto',5);
```

12. Application mode :

```
clear appl
appl.mode.class = 'FlPDEC';
appl.dim = {'u','u_t'};
appl.name = 'c';
appl.assignsuffix = '_c';
appl.bnd=...
BuildBoundaryStructure(ft,mat);
appl.bnd.gallfreq={0,0,0,0};
appl.equ=...
BuildSubDomainsStructures(st,vol);
appl.equ.usage = {1,1};
fem.appl{1} = appl;
```

13. ODE settings and descriptions (atmospheric absorption coefficient m)

```
clear descr
descr.const= {'m','abs atmos'};
fem.descr = descr;
clear ode
clear units;
units.basesystem = 'SI';
ode.units = units;
fem.ode=ode;
```

14. Loop on the frequency bands (the problem is solve for each frequency band):

```
vec_freqid=[5,8,11,14,17,20];
freqsize=size(vec_freqid,2);
freqcount=1;
freqstepprogress=(100/freqsize)*.8/6.;
for idfreq = vec_freqid
```

- a. Loading equations:

```
fem.appl{1}.bnd.q=ChangeFreq(mat.mater
ials.q,fem.appl{1}.bnd.q,idfreq);
fem.appl{1}.equ.f=ChangeFreq(vol.f,fem
.appl{1}.equ.f,idfreq);
```

```
fem.appl{1}.equ.a=ChangeFreq(vol.a,fem
.appl{1}.equ.a,idfreq);
fem.appl{1}.equ.c=ChangeFreq(vol.c,fem
.appl{1}.equ.c,idfreq);
fem.appl{1}.equ.init=ChangeFreq(vol.in
it,fem.appl{1}.equ.init,idfreq);
fem.appl{1}.bnd.g=ChangeFreq(fem.appl{
1}.bnd.gallfreq,fem.appl{1}.bnd.g,id
freq);
```

b. Loading the application:

```
fem=multiphysics(fem);
```

c. Meshing the geometry :

```
fem.xmesh=meshextend(fem);
disp(strcat('#', ...
num2str((freqcount/freqsize)*100*.8...
+10-freqstepprogress*5));
disp('Solve problem');
```

d. Solving the problem:

```
fem.sol=femstatic(fem, ...
'solcomp',{'u'},'outcomp',{'u'}, ...
'ntol',1e-006);
```

e. Saving results:

```
SaveGlobalResults(fem,...
rec_poncts.freqlbl{idfreq});
SaveRecSurfResults(rec_surf,fem,...
idfreq);
SaveRecPonctResults(rec_poncts,...
fem,idfreq);
```

4. Conclusions

By coupling the GUI I-Simpa with COMSOL Multiphysics, the acoustic diffusion model becomes reachable by any acoustician, without any specific knowledge of COMSOL Multiphysics.

8. References

1. V. Valeau, J. Picaut and M. Hodgson, On the use of a diffusion equation for room-acoustic prediction, *Journal of the acoustical Society of America*, **119(3)**, 1504–1513 (2006)
2. A. Billon, V. Valeau, J. Picaut and A. Sakout, On the use of a diffusion model for acoustically coupled rooms, *Journal of the acoustical Society of America*, **120(4)**, 2043–2054 (2006)
3. V. Valeau, M. Hodgson and J. Picaut, A Diffusion-Based Analogy for the Prediction of Sound Fields in Fitted Rooms, *Acta Acustica united with Acustica*, **93**, 94–105 (2007)

4. A. Billon, J. Picaut and A. Sakout, Prediction of the reverberation time in high absorbent room using a modified-diffusion model, *Applied Acoustics*, **69**, 48–74 (2008)
5. A. Billon, J. Picaut, C. Foy, V. Valeau and A. Sakout, Introducing atmospheric attenuation within a diffusion model for room-acoustic predictions, *Journal of the acoustical Society of America*, **123(6)**, 4040–4043 (2008)
6. A. Billon, C. Foy, J. Picaut, V. Valeau and A. Sakout, Modeling the sound transmission between rooms coupled through partition walls by using a diffusion model, *Journal of the acoustical Society of America*, **123(6)**, 4261–4271 (2008)
7. C. Foy, V. Valeau, A. Billon, J. Picaut and M. Hodgson, An Empirical Diffusion Model for Acoustic Prediction in Rooms with Mixed Diffuse and Specular Reflections, *Acta Acustica united with Acustica*, **95**, 97–105 (2009)
8. Y. Jing and N. Xiang, A modified diffusion equation for room acoustics prediction, *Journal of the acoustical Society of America*, **121(6)**, 3284–3287 (2007)
9. Y. Jing and N. Xiang, On boundary conditions for the diffusion equation in room-acoustic prediction: Theory, simulations and experiments, *Journal of the acoustical Society of America*, **123(1)**, 145–153 (2008)
10. N. Xiang, Y. Jing and A.C. Bockman, Investigation of acoustically coupled enclosures using a diffusion-equation model, *Journal of the acoustical Society of America*, **126(3)**, 1187–1198 (2009)
11. Y. Jing and N. Xiang, Boundary condition for the diffusion equation model in room-acoustic prediction, *Proceedings of the COMSOL Conference* (2007)
12. Y. Jing and N. Xiang, On the use of a diffusion equation model for the energy flow prediction in acoustically coupled spaces, *Proceedings of the COMSOL Conference* (2008)

9. Acknowledgements

The authors wish to thank the Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) for providing financial support of this work.

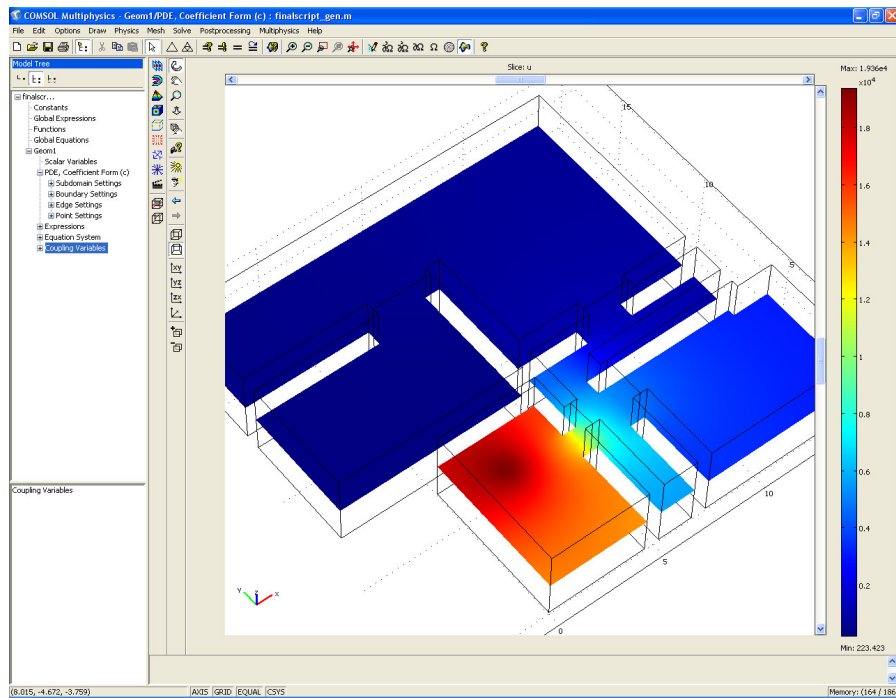
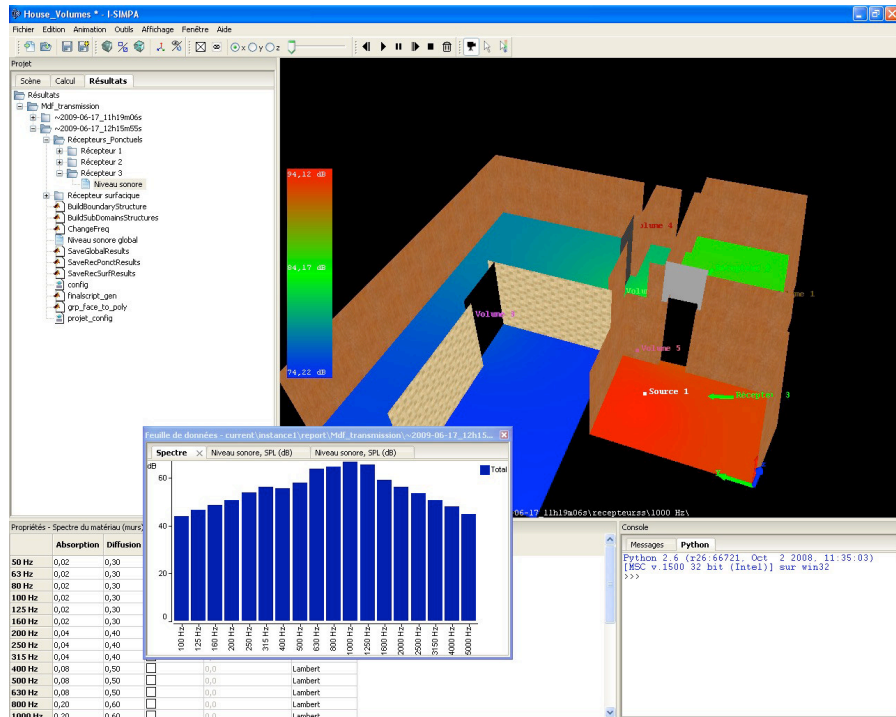


Figure 2. Upper screenshot: acoustic study of coupled room within I-Simpa. Representation of sound maps calculated with the diffusion model using COMSOL Multiphysics. Lower screenshot: equivalent visualization in COMSOL Multiphysics.

ANEXO V: CRITERIOS DE CALIDAD ACÚSTICA EN PISCINAS: NORMA NIDE 3

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

INDICE:

- 1 OBJETO Y AMBITO DE APLICACIÓN
- 2 TERMINOS Y DEFINICIONES
 - 2.1 Espacios útiles al deporte
 - 2.2 Espacios auxiliares
 - 2.3 Área de influencia
- 3 CLASES DE PISCINAS CUBIERTAS
 - 3.1 Piscinas con vasos de enseñanza y chapoteo
 - 3.2 Piscinas con vasos polivalentes, vasos de enseñanza y de chapoteo
 - 3.3 Piscinas con vasos de natación, vasos de enseñanza y chapoteo
 - 3.4 Piscinas con vasos de natación y fosos de saltos
- 4 CONDICIONES DE PLANIFICACIÓN, NORMAS PREVIAS AL DISEÑO
 - 4.1 Criterios de localización y características de los terrenos
- 5 CONDICIONES DE PLANIFICACIÓN, CALCULO DE NECESIDADES
 - 5.1 Área de influencia
 - 5.2 Necesidades actuales y futuras
 - 5.3 Necesidades escolares (SE)
 - 5.4 Necesidades de la población (SP)
 - 5.5 Necesidades del deporte de competición (SC)
 - 5.6 Necesidades totales
- 6 CONDICIONES DE DISEÑO: TIPOLOGÍA DE PISCINAS CUBIERTAS
 - 6.1 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS DE ENSEÑANZA
 - 6.1.1 Espacios útiles al deporte
 - 6.1.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
 - 6.1.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
 - 6.2 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS DE ENSEÑANZA Y CHAPOTEO
 - 6.2.1 Espacios útiles al deporte
 - 6.2.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
 - 6.2.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
 - 6.3 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS POLIVALENTES Y DE ENSEÑANZA
 - 6.3.1 Espacios útiles al deporte
 - 6.3.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
 - 6.3.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
 - 6.4 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS POLIVALENTES, DE ENSEÑANZA Y DE CHAPOTEO
 - 6.4.1 Espacios útiles al deporte
 - 6.4.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
 - 6.4.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
 - 6.5 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS DE NATACION Y DE ENSEÑANZA
 - 6.5.1 Espacios útiles al deporte
 - 6.5.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
 - 6.5.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
 - 6.5.4 Espacios auxiliares a los espectadores (EAE)

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

6.6 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS DE NATACIÓN, DE ENSEÑANZA Y DE CHAPOTEEO

- 6.6.1 Espacios útiles al deporte
- 6.6.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
- 6.6.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
- 6.6.4 Espacios auxiliares a los espectadores (EAE)

6.7 PISCINAS CUBIERTAS CON VASOS DE NATACIÓN Y FOSOS DE SALTOS

- 6.7.1 Espacios útiles al deporte
- 6.7.2 Espacios auxiliares para los deportistas (EAD)
- 6.7.3 Espacios auxiliares singulares (EAS)
- 6.7.4 Espacios auxiliares a los espectadores (EAE)

6.8 CAPACIDAD DE LOS ESPACIOS PARA ESPECTADORES SEGÚN POBLACIÓN

7 CONDICIONES DE DISEÑO. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDAD DE PISCINAS CUBIERTAS

- 7.1 Vestíbulo, Control, Recepción
 - 7.2 Circulaciones
 - 7.3 Recinto de piscinas:
 - 7.4 Equipamiento deportivo
 - 7.5 Vasos
 - 7.6 Vasos de calentamiento
 - 7.7 Vasos especiales
 - 7.8 Playas
 - 7.9 Depuración del agua
 - 7.10 Temperatura del agua del vaso
 - 7.11 Vestuarios – aseos
 - 7.12 Botiquín / Enfermería
 - 7.13 Salas de Puesta a punto / Musculación
 - 7.14 Sala de masaje
 - 7.15 Área de Control de Dopaje
 - 7.16 Cámara de Salidas / Llegadas
 - 7.17 Cronometraje electrónico / Control de saltos
 - 7.18 Oficina de Administración
 - 7.19 Almacén de material deportivo
 - 7.20 Salas de instalaciones
 - 7.21 Espacios para espectadores
 - 7.22 Señalización
 - 7.23 Marcadores
- 8 BIBLIOGRAFIA BÁSICA

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

I OBJETO Y AMBITO DE APLICACIÓN

Esta Norma de Proyecto enumera las condiciones relativas a Planificación, Diseño, Condiciones Técnicas de materiales, sistemas e instalaciones concernientes a instalaciones deportivas llamadas PISCINAS CUBIERTAS útiles para la práctica de los siguientes deportes:

- NATACIÓN en todas las especialidades
- SALTOS
- WATER-POLO
- NATACION SINCRONIZADA
- SALVAMENTO Y SOCORRISMO

y de las siguientes actividades:

- CHAPOTEEO de niños,
- RECREO de niños,
- ENSEÑANZA de la natación,
- RECREO de adultos o no nadadores

y todos aquellos que oportunamente puedan incorporarse si se consideran de Piscina cubierta, a nivel de deporte federativo de competición, de deporte-recreativo para todos y/o de deporte escolar. La piscina cubierta deberá servir para el máximo número posible de los deportes o actividades citadas, a fin de alcanzar una rentabilidad de uso mayor.

Las Normas Reglamentarias de cada uno de estos deportes o actividades constituyen documento aparte de la presente Norma de Proyecto.

Toda PISCINA CUBIERTA a la que pueda ser de aplicación esta Norma, deberá estar compuesta de Espacios útiles al deporte y de Espacios auxiliares. Véase apartado de Términos y Definiciones.

Quedan fuera del ámbito de esta Norma de Proyecto, las instalaciones deportivas al aire libre, útiles para la práctica de los deportes o actividades citados.

Quedan asimismo fuera del ámbito de esta Norma de Proyecto, tanto las Piscinas cubiertas de carácter privado (destinadas al uso particular de una familia y de su amistades) como las de carácter semipúblico (dedicada al servicio exclusivo de urbanizaciones y comunidades de propietarios).

2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

A los efectos de esta Norma se emplean los siguientes términos y definiciones:

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

7 CONDICIONES DE DISEÑO. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDAD DE PISCINAS CUBIERTAS

Los espacios útiles al deporte y los espacios auxiliares de las Piscinas Cubiertas cuyas definiciones, dimensiones y esquemas gráficos pueden encontrarse en el punto 6 de Tipología, vendrán definidos en cada Proyecto a partir de un conjunto de Capítulos y unidades de obra.

Las unidades de obra de dicho Proyecto habrán de reunir una serie de características y calidades para alcanzar un grado de funcionalidad deportiva adecuado, para lo cual el diseño de las Piscinas Cubiertas tendrá en cuenta criterios de índole funcional, ambiental, constructivo, de seguridad, de mantenimiento, de gestión y económico. Los criterios compositivos y estéticos del diseño serán de libre decisión del proyectista sin menoscabo de los restantes criterios y dentro de los límites presupuestarios que se hayan establecido.

El proyecto cuidará la integración en el entorno, de forma que los volúmenes no configuren un impacto negativo, al igual que los colores y texturas del edificio.

Estará resuelta la accesibilidad de personas con movilidad reducida desde el exterior, en el acceso y en los recorridos horizontales o verticales a vestuarios, aseos, playas, vasos y espacios para espectadores, sin barreras arquitectónicas y con la disposición de las instalaciones y ayudas técnicas necesarias para obtener un nivel adaptado de accesibilidad, conforme con la legislación vigente de obligado cumplimiento que le sea de aplicación. Se recomienda el cumplimiento de las normas UNE de accesibilidad (UNE 41500IN Criterios generales de diseño, UNE 41510 Accesibilidad en el urbanismo, UNE 41520 Espacios de comunicación horizontal, UNE 41523 Espacios higiénico-sanitarios)

Las cubiertas, fachadas y cerramientos tendrán aislamiento térmico y se evitarán las condensaciones y puentes térmicos, se observará el cumplimiento de la vigente Norma de condiciones térmicas de los edificios.

Se tendrá en cuenta en el diseño un consumo energético eficiente y limitado, así como la utilización de energías renovables (solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotérmica, etc.) para dicho consumo energético de la Instalación deportiva (p. e.: instalación de colectores solares para acumulación de agua caliente sanitaria, agua caliente para los vasos, agua caliente para calefacción por suelo radiante en playas de los vasos de piscina y en vestuarios; calderas de producción de agua caliente y calefacción por biomasa, etc.)

Deberá considerarse un uso racional del agua reduciendo su consumo mediante los medios y soluciones técnicas necesarias.

Se impedirá la emisión de materias contaminantes al aire o a las aguas.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

Se contemplará la separación de residuos, así como el reciclaje de los mismos.

Los elementos constructivos y las instalaciones del edificio serán duraderos y su coste de conservación y mantenimiento será mínimo.

Se observará el cumplimiento de las Normas obligatorias relativas a la Edificación y a las Instalaciones y sus correspondientes Reglamentos.

Cumplirán la normativa higiénico-sanitaria de piscinas de uso público que le sea de aplicación ya sea Autonómica y/o Municipal.

A continuación y sin perjuicio de tal cumplimiento se indican los criterios y características de los espacios de las Piscinas Cubiertas:

7.1 Vestíbulo, Control, Recepción:

- El acceso será único, siguiendo el criterio de que los costes de control y recepción sean mínimos, de forma que sea atendido por el menor nº de personal, no obstante deben estar bien estudiadas las circulaciones de deportistas y público de forma que no se interfieran y puedan diferenciarse mediante elementos móviles. En Instalaciones donde se puedan celebrar competiciones deportivas de importancia, deben considerarse accesos específicos de público y accesos extras para deportistas, autoridades, prensa y TV, independientes del acceso principal.
- El vestíbulo dispondrá de una zona para estancia y espera y un espacio para tablón de anuncios e información.
- En las Piscinas Cubiertas con espacios para espectadores se dispondrá de una superficie de vestíbulos para espectadores de 1m² por cada 6 espectadores.
- Las salidas a espacio exterior seguro y el nº y dimensiones de las puertas de salida serán las preceptivas según la Reglamentación de Incendios y de Espectáculos. Es importante reseñar que para aforo de público superior a 700 personas es necesario disponer de salidas a dos vías públicas y el ancho total de puertas de salida debe ser de 1,80 m/250 personas o fracción, con un mínimo de 1,20 m para aforo inferior a 50 personas. Las puertas abrirán en el sentido de la salida y tendrán transparente su parte superior.
- Al exterior de las puertas de entradas se dispondrá rejilla limpiabarros enrasada con el pavimento y al interior felpudo también enrasado con el pavimento.
- Desde el control del acceso se dominará visualmente el recinto de los vasos y las playas y en él se dispondrán los cuadros de mando y control de iluminación, seguridad, etc.
- En las Piscinas Cubiertas con espacios para espectadores se separarán con claridad desde el acceso los espacios para espectadores de los espacios para deportistas, los cuales no deben ser accesibles para los espectadores y se garantizará la buena visibilidad desde el graderío, del vaso ó vasos donde se prevean celebrar competiciones oficiales.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Desde el vestíbulo se accederá al pasillo de pies calzados que conducirá a los vestuarios. Desde el vestíbulo quedará impedido el paso directo de deportistas y usuarios al recinto de los vasos de la piscina. Véase la figura PC-8.
- En el vestíbulo se dispondrán aseos para usuarios con pies calzados y/o para público.
- El vestíbulo dispondrá de luz natural y la iluminación artificial alcanzará un nivel medio de 100 lx y de 200 lx en el control. Dispondrá de un sistema de climatización para mantener una temperatura de 20°C.
- Dispondrá de instalación para teléfono público.
- Será accesible para personas con movilidad reducida desde el exterior, no tendrá escalón de entrada ó se sustituirá por rampa, existirá un espacio de 1,50 m al exterior y al interior de la puerta de entrada, libre de obstáculos, horizontal ó con pendiente máxima de 2%. Los timbres, interruptores, teléfonos, etc. serán de fácil acceso y situados a una altura entre 0,80 m y 1,20 m. El mostrador de recepción permitirá la aproximación del usuario en silla de ruedas, tendrá 0,85 m de altura dejando un hueco bajo él de 0,78 m de altura libre, 0,60 m de fondo, ancho mínimo de 1 m. Se dispondrán las instalaciones y ayudas técnicas necesarias para obtener un nivel adaptado de accesibilidad, conforme con la legislación vigente de obligado cumplimiento que le sea de aplicación.

7.2 Circulaciones:

- Los espacios de circulación de deportistas y usuarios están constituidos por el pasillo de pies calzados que conduce desde el vestíbulo a los vestuarios y por el pasillo de pies descalzos que conduce desde los vestuarios al recinto de los vasos y a las zonas de duchas y aseos. Véase la figura PC-8.
- Tendrán un ancho mínimo de 1,50 m, altura mínima de 2,80 m y altura libre mínima entre el pavimento y el obstáculo mas próximo, luminaria, conducto de instalaciones, etc. será de 2,60 m, preferible con iluminación natural y nivel de iluminación artificial de 100 lx. Es recomendable mantener una temperatura mínima de 20°C.
- Tendrán alumbrado de emergencia y señalización.
- Serán accesibles para personas con movilidad reducida tanto en los recorridos horizontales como en los verticales, debiendo existir, al menos, un itinerario accesible a todos los espacios de uso público (vestuarios, recinto de piscinas, etc.), sin escalones y disponiendo rampas de pendiente recomendada de 6% y máxima 8% ó ascensores para salvar diferencias de cota si las hubiese.

7.3 Recinto de piscinas:

- El acceso al recinto de piscinas será desde el pasillo de pies descalzos de forma que se acceda al recinto de vasos, después del cambio de ropa y de calzado. Véase la figura PC-8.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- En el acceso al recinto se dispondrá un espacio de duchas para su uso por el deportista ó usuario antes del baño, debiendo colocarse carteles que indiquen este proceder. Los vestuarios deben situarse al mismo nivel del recinto de piscinas.
- El recinto de piscinas estará separado físicamente del resto de locales al ser diferentes las condiciones de humedad y temperatura.
- La estructura y la cubierta han de ser resistentes a la humedad y a los agentes ambientales agresivos como el cloro.
- La cubierta y los paramentos verticales se diseñarán con el aislamiento térmico suficiente de forma que se eviten condensaciones superficiales ó internas y puentes térmicos.
- El material de revestimiento de paramentos verticales será impermeable, aislado térmicamente, liso, no abrasivo y resistente a los golpes, las aristas de los paramentos verticales quedaran redondeadas.
- En general es preferible no disponer falsos techos en el recinto de piscinas, si existen serán hidrófugos, inalterables a la humedad, imputrescibles y resistentes a balonazos, quedando impedido su desprendimiento y caída en cualquier caso.
- La carpintería interior de puertas y ventanas será de material no oxidable o protegido suficientemente contra la corrosión.
- El recinto de piscinas tendrá iluminación natural que será uniforme y no produzca deslumbramiento ni reflejos en la lámina de agua. La iluminación natural será, preferiblemente, por fachada mediante ventanas ó muros traslúcidos orientados al sur, con voladizos o sistemas de protección del sol en verano. La orientación del eje principal del recinto cuando se ilumina por fachada deberá ser por tanto este-oeste. No se deben abrir huecos de iluminación en los lados cortos del recinto para evitar deslumbramiento en las plataformas de salida ó en las porterías de water-polo. En caso de disponer iluminación cenital mediante lucernarios o claraboyas se asegurará un buen sistema que evite condensaciones y sea estanco.
- Las ventanas y huecos acristalados tanto al exterior como a otros espacios de la instalación deportiva, serán con doble vidrio con cámara para evitar condensaciones. Se pueden utilizar sistemas como chorros de aire caliente incidiendo en la superficie de los vidrios para evitar condensaciones.
- La carpintería exterior será de material no oxidable o protegido suficientemente contra la corrosión.
- Los vidrios que queden al alcance de deportistas o usuarios o puedan recibir impactos de balones o golpes serán vidrios de seguridad, laminados, resistentes a impactos, al exterior se protegerán de rotura por vandalismo.
- El recinto de piscinas tendrá iluminación artificial, será uniforme y no deslumbrará la visión de los nadadores, jueces, cronometradores ni de los espectadores y no debe provocar reflejos en la lámina de agua. Cumplirá la norma UNE-EN 12193 "Iluminación de instalaciones deportivas", alcanzando como mínimo de los valores siguientes:

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

ILUMINACIÓN PISCINAS CUBIERTAS		
NIVEL DE COMPETICIÓN	Iluminancia horizontal	
	E med (lux)	Uniformidad E min/E med
Competiciones internacionales (1)	1500	0,7
Competiciones nacionales, regionales, entrenamiento alto nivel (2)	500	0,7
Competiciones locales, entrenamiento, uso escolar y recreativo (2)	300	0,5

(1) En todo el ámbito de la piscina (vasos) resto 750 lux

(2) Valor mínimo medido sobre las plataformas de salida y los extremos de viraje: 600 lux

Se dispondrá de dos o tres niveles de encendido de forma que iluminación se pueda disponer al 50% - 100% ó al 33%, 66%, 100%. Para retransmisiones de TV color y grabación de películas se requiere un nivel de iluminancia vertical de al menos 800 lux, no obstante este valor puede aumentar con la distancia de la cámara al objeto. Para mayor información debe consultarse la norma citada. Las luminarias serán estancas y con el índice de protección apropiado al ambiente húmedo en que se encuentran. Las luminarias no deben colocarse sobre la vertical de la lámina de agua. Para conseguir un buen rendimiento de color ($R_a > 70$) las lámparas pueden ser de vapor de mercurio alta presión con halogenuros metálicos o fluorescentes.

- La instalación de electricidad cumplirá los requisitos de seguridad específicos según establece el Reglamento Electrotécnico de baja tensión para piscinas. En un espacio de 2 m desde el borde de la lamina de agua no deben instalarse interruptores, tomas de corriente o programadores. Entre 2 y 3,5 m desde el borde de la lamina de agua se podrán instalar bases de toma de corriente e interruptores siempre que estén suficientemente protegidos de acuerdo con el citado Reglamento. Los equipos eléctricos (canalizaciones, empalmes, conexiones, etc.) tendrá el grado de protección requerido. Todos los elementos conductores deben conectarse a una conexión equipotencial suplementaria local. Las canalizaciones eléctricas no tendrán cubiertas metálicas accesibles, las cubiertas metálicas no accesibles estarán unidas a una línea equipotencial suplementaria. Los cables y su instalación serán de las características requeridas para los locales mojados.
- Las luminarias colocadas bajo el agua en hornacinas o huecos se accederá a ellas por detrás y se instalarán de manera que no pueda haber ningún contacto entre partes conductoras accesibles de la mirilla y partes metálicas de la luminaria, incluyendo su fijación.
- El recinto de piscinas dispondrá de instalación de ventilación de forma que proporcione una renovación del aire con un volumen mínimo de 9 m³/h y por m² de lámina de agua (2,5 l/s y m² lámina de agua). El calor del aire expulsado deberá ser recuperado.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- El recinto de piscinas dispondrá de instalación de climatización de forma que la temperatura mínima a 1 m del suelo sea de 2°C a 3°C superior a la temperatura del agua de los vasos, con un mínimo de 26° C y un máximo de 28° C. La humedad relativa del aire se mantendrá entre 55%-70% para evitar condensaciones. La impulsión dirigirá el aire hacia las playas y vasos de forma que la velocidad de impulsión sea, como máximo de 0,15 m/s a 2 m sobre el nivel de la lamina de agua. El aire de retorno del recinto se deshumidificará con recuperación del calor de condensación. La instalación de climatización cumplirá el Reglamento de Instalaciones térmicas de los edificios.
- Debe cuidarse que la instalación de climatización y de ventilación no produzca ruidos molestos, el nivel de ruido a causa del sistema de climatización y ventilación mecánica será inferior a 45 dbA.
- La altura libre mínima sobre la lámina de agua y las playas será de 4 m, no obstante el volumen de aire en el recinto será tal que se disponga de un volumen mínimo de 8 m3 por m2 de superficie de lámina de agua.
- La acústica del recinto de piscinas evitará la existencia de ecos y ruidos, el coeficiente de reverberación será inferior o igual a los siguientes valores según el volumen de la pista:

ACÚSTICA PISCINAS CUBIERTAS	
Volumen	Tiempo de reverberación
< 2000 m3	1,1 s
2000 m3- 5000 m3	1,2 s
5000 m3- 7000 m3	1,4 s
5000 m3- 9000 m3	1,5 s
> 9000 m3	1,6 s

Para conseguir estos valores se dispondrán paramentos y techos absorbentes del sonido que cumplirán el resto de características. Se dispondrá el aislamiento acústico necesario para impedir las emisiones de ruido al exterior o a otras zonas de la instalación deportiva, de acuerdo con la Normativa vigente de Condiciones Acústicas de los edificios.

- El recinto de piscinas dispondrá de instalación de megafonía con puntos de toma próximos a la zona de llegada de cada vaso.
- Se preverá la instalación de panel marcador electrónico, reloj y cronómetro con un punto de mando junto a cada punto de toma de megafonía.
- En el recinto de piscinas se dispondrán asientos con una previsión de al menos 1 por cada 10 m2 de lámina de agua.

7.4 Equipamiento deportivo:

- El equipamiento deportivo fijo o móvil será el necesario para el uso previsto, sus anclajes estarán fijados a los elementos estructurales, serán de material inoxidable y no deben presentar peligro para los usuarios o deportistas.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- El equipamiento deportivo debe ser seguro de tal forma que no produzca riesgos de accidentes en los deportistas y usuarios, cumplirá los requisitos indicados en las correspondientes Normas NIDE de Piscinas, así como las Normas europeas en esta materia, las cuales se relacionan a continuación:

EQUIPAMIENTO PISCINAS	
UNE-EN 13451-1	Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo
UNE-EN 13451-2	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para escalas, escaleras y barandillas
UNE-EN 13451-3	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para accesorios de piscinas destinados al tratamiento de agua
UNE-EN 13451-4	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para plataformas de salida
UNE-EN 13451-5	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para las líneas de calle
UNE-EN 13451-6	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para placas de giro
UNE-EN 13451-7	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para porterías de water-polo
UNE-EN 13451-8	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para atracciones acuáticas
UNE-EN 13451-10	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales, para plataformas de salto, trampolines y equipo asociado
UNE-EN 13451-11	Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para fondos móviles de piscina y muros móviles
TOBOGANES ACUÁTICOS DE MAS DE 2m DE ALTURA	
UNE EN 1069-1	Toboganes acuáticos de mas de 2 m de altura. Parte 1: Especificaciones y métodos de ensayo
UNE EN 1069-2	Toboganes acuáticos de mas de 2 m de altura. Parte 2: Instrucciones

- De igual manera que para el resto de instalaciones, se realizarán las inspecciones o revisiones periódicas, como mínimo una vez al año, así como las operaciones de mantenimiento necesarias para que, los equipamientos deportivos se mantengan en perfecto estado de uso y cumpliendo los requisitos de seguridad establecidos. Las operaciones de inspección y de mantenimiento de los equipamientos deportivos se realizarán por personal con preparación y medios suficientes para este fin siguiendo las instrucciones que haya facilitado el fabricante del equipamiento deportivo.

7.5 Vasos:

- Los vasos de piscina se construirán con una estructura que garantice la estabilidad y estanqueidad del vaso y será independiente de la estructura de las playas perimetrales, disponiéndose las juntas de dilatación así como las juntas estancas y sellados necesarios. Véanse las figuras PC-9a y PC-9b.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Los vasos de natación y polivalentes se construirán de forma que alrededor de ellos exista una galería de servicio registrable por debajo del nivel de las playas. Véanse las figuras PC-9a y PC-9b.
- Las dimensiones, profundidad, pendientes del fondo y demás características del vaso deben ajustarse a lo especificado en las correspondientes normas NIDE según el tipo de vaso (Natación, Natación sincronizada, Saltos, Water-polo, Piscinas polivalentes, de Enseñanza, de Recreo, de Chapoteo).
- Pueden disponerse fondos móviles en los vasos de natación para adecuar la profundidad a varias modalidades; natación, natación sincronizada, etc. Cumplirán la norma UNE-EN 13451-11 “Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para fondos móviles de piscina y muros móviles”
- Para mayor polivalencia deportiva, de entrenamiento y de uso, los vasos deportivos de 50 m pueden dividirse en dos vasos menores mediante un muro frontal móvil, para ello las dimensiones del vaso se aumentarán para cumplir las medidas reglamentarias (ancho muro frontal móvil ≥ 1 m; $\geq 1,15$ m con plataformas de salida). Los muros móviles cumplirán la norma UNE-EN 13451-11 “Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para fondos móviles de piscina y muros móviles”
- Los vasos dispondrán de un bordillo – rebosadero de tipo desbordante que limitará el nivel máximo de agua, desaguará la película superficial de impurezas, servirá de agarre a los usuarios y cumplirá la función de rompeolas. La recogida de aguas superficiales de las playas se hará mediante canaleta independiente de la que recoja el agua del vaso. Las rejillas deberán quedar aseguradas en posición fija y quedar impedido su movimiento en el uso normal, la superficie de las rejillas deberán tener una resistencia al deslizamiento de 18°, según la norma UNE-EN 13451-3. Véanse las figuras PC-9a y PC-9b
- Se dispondrá en los muros del vaso un escalón perimetral a una profundidad bajo el nivel del agua de 1,20 m (vasos polivalentes)/1,60 m (vasos de natación) y con anchura entre 0,10 m y 0,15 m, para el apoyo o descanso de nadadores y usuarios. Véanse las figuras PC-9a y PC-9b
- Se dispondrán accesos al vaso mediante escaleras verticales en las esquinas de los lados laterales y cuando sea necesario otras a distancias no superior a 20 m entre escaleras, excepto en los vasos de chapoteo. Las escaleras verticales no sobresaldrán del plano general de los muros, para evitar posibles encontronazos entre los que las personas que la utilizan y las que evolucionan dentro del agua. Una escalera al menos debe alcanzar el fondo para del vaso para posibilitar el acceso del personal encargado de la limpieza y conservación. Las escaleras verticales serán de material inoxidable y cumplirán las normas UNE-EN 13451 “Equipamientos para piscinas. Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo” y UNE-EN 13451-2 “Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales para escalas, escaleras y barandillas”. La resistencia al deslizamiento de los peldaños será tal que se obtendrá un ángulo mínimo de 24° según Norma UNE-EN 13451 citada.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Para permitir la accesibilidad al interior de la lámina de agua y salir de ella a personas discapacitadas, se dispondrán elevadores hidráulicos o manuales en las playas o andenes de acceso al vaso, excepto en los vasos de chapoteo.
- En vasos de enseñanza ó de recreo se podrán disponer escalinatas o rampas laterales o frontales de acceso al vaso con barandillas de material inoxidable.
- El revestimiento de las paredes y fondos del vaso será de un material impermeable que permita una fácil limpieza y desinfección, resistente a los agentes químicos de depuración del agua y de características antideslizantes al menos en el fondo y en el rebosadero, admitiéndose como mínimo los de clase B (ángulo $\geq 18^\circ$) según método de ensayo DIN 51097. Las esquinas estarán redondeadas para facilitar la limpieza. Véase la figura PC-10
- Se dispondrán tomas en el vaso para la limpieza de fondos.
- El vaso dispondrá al menos de dos desagües para su vaciado completo.

7.6 Vasos de calentamiento:

- Son necesarios en instalaciones deportivas donde se realicen competiciones deportivas de cierto nivel.
- Puede disponerse un vaso de calentamiento de natación, próximo al vaso de competición, de forma que también pueda ser utilizado para otras actividades. También podrá disponerse un vaso de calentamiento de saltadores próximo a la zona de saltos.

7.7 Vasos especiales:

- Los vasos especiales complementan la oferta acuática de la instalación, pueden ser de recreo, terapéuticos o deportivos. A continuación se indican los siguientes tipos:
 - Vasos de hidromasaje, con sistemas de inyección de aire a presión formando burbujas o chorros de agua (bancos de hidromasaje, pozo de burbujas, 36°C).
 - Vasos de agua caliente (33°C)
 - Vasos de agua fría (23°C)
 - Piscina contracorriente, con chorros de agua de alta presión.
- Cumplirán el R.D. 865/2003 para la prevención y control de la legionelosis los vasos con sistemas de agua climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire (spas, jakuzzis, piscinas, vasos o bañeras terapéuticas, bañeras de hidromasaje, tratamientos con chorros a presión, etc.).

7.8 Playas:

- Alrededor del vaso se preverán bandas perimetrales de playas o andenes pavimentados, para la circulación de nadadores y usuarios, para el control

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

de la Competición, así como para separar la lámina de agua de otras zonas. Las anchuras mínimas de playas ó andenes serán las que se indican en las normas reglamentarias correspondientes, en cualquier caso serán como mínimo de 2,00 m (3,50 m recomendado) y de 3,00 m en el extremo de las plataformas de salidas (será de 5,00 m como mínimo en piscinas donde se celebren Competiciones Nacionales). Véanse las figuras PC-9a y PC-9b.

- La distancia de playas de separación entre vasos será como mínimo de 5 m.
- La superficie de las playas será plana, sin que se formen charcos y con pendiente de, al menos, 2% en dirección perpendicular y opuesta al vaso hacia canaleta de recogida de agua perimetral, independiente y alejada de la del vaso. Véanse las figuras PC-9a y PC-9b
- El pavimento de las playas se hará con materiales impermeables, imputrescibles, evitando la formación de charcos, resistentes a los agentes químicos de depuración del agua, que impidan la proliferación de microorganismos y sean antideslizantes en estado húmedo de forma que impida los resbalones, por otro lado su rugosidad deberá ser tal que no moleste o hiera las plantas de los pies descalzos.
- Los pavimentos de las playas tendrá una resistencia al deslizamiento de forma que sean al menos de clase B (ángulo $\geq 18^\circ$) según método de ensayo DIN 51097 que determina las propiedades antideslizantes para zonas mojadas con pies descalzos.
- Se dispondrán duchas en el espacio de playas, al menos 4, junto al acceso a las mismas desde el pasillo de pies descalzos, se podrán también disponer duchas alrededor de los vasos próximas a los accesos o escaleras a dichos vasos. El agua se recogerá mediante canaleta perimetral alejada del vaso.
- En el espacio de playas se dispondrán tomas de agua para su limpieza.

7.9 Depuración del agua:

- El agua de los vasos procederá de la red de abastecimiento de agua potable, no obstante en caso de utilizar agua de otra procedencia (pozos, cauces, etc) deberá tener unas características similares y ser autorizado por el organismo sanitario competente.
- Para mantener las características higiénicas del agua potable es necesario depurar el agua del vaso, para lo cual se dispondrá un sistema de recirculación para filtrado y desinfección del agua antes de su retorno al vaso.
- El sistema de recirculación será tal que tomará el agua del vaso superficialmente a través de la canaleta perimetral y se conducirá hasta un depósito de compensación desde donde, mediante bombas de impulsión, se tomará el agua para su filtrado y desinfección antes de retornarla al vaso. La impulsión del agua tratada en el vaso será por el fondo del mismo para conducir las partículas en suspensión fuera del vaso, las boquillas de impulsión se repartirán de forma homogénea para que las corrientes ascendentes impidan la precipitación de partículas en el fondo. La velocidad máxima del agua en cualquier entrada será de 4 m/s.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- La recirculación completa del agua del vaso se hará como mínimo en los tiempos siguientes 8 h en vasos de uso solamente deportivo (natación, natación sincronizada, water-polo, saltos) 4 h en vasos de recreo y polivalentes, 2 h en vasos de enseñanza y 1 h en vasos de chapoteo.
- Cuando exista mas de un vaso, cada uno tendrá su propio sistema de depuración y vaso de compensación. La depuración del agua de los vasos de chapoteo y de enseñanza será independiente del resto de los vasos.
- El vaso de compensación recogerá las aguas del vaso de piscina a través de las canaletas perimetrales por gravedad, por lo que se ubicará a cota inferior a aquellas. El volumen del vaso que absorberá los volúmenes de agua desbordados por inmersión de bañistas será al menos del 10% del volumen del vaso. Tendrá desagüe para su vaciado, fondo con pendiente hacia el desagüe y será de fácil acceso para proceder a su limpieza.
- Para mantener la calidad del agua y mantener el nivel necesario en el vaso, reponiendo la que se pierde por evaporación, chapoteo, etc. se aportará un volumen de agua de la red no inferior al 5% del volumen del vaso, el aporte de agua se hará en el vaso de compensación. Al menos una vez al año se procederá a la renovación completa del agua del vaso.
- Se dispondrán dos contadores por cada vaso; uno medirá la cantidad de agua nueva y el otro la cantidad de agua procedente de la depuradora. Serán independientes de otros que deba tener la instalación.
- Para la recirculación del agua del vaso se dispondrán bombas de impulsión, dos al menos, de forma que puedan funcionar alternativa o conjuntamente y una sea de reserva. La potencia de las bombas de impulsión será la necesaria para conseguir el caudal y la velocidad de filtración exigida considerando las perdidas hidráulicas y su rendimiento no será inferior al 65%. A la entrada de las bombas se colocará un prefiltro para retener elementos que las puedan obstruir (cabellos, horquillas, etc.) dispondrán de un cesto de rejilla que se pueda retirar para su limpieza..
- Para aglutinar las partículas en suspensión y aumentar la eficacia de los filtros de arena de sílice se añadirá un floculante al agua, mediante bomba dosificadora, a continuación de las bombas y antes de los filtros. La cantidad de floculante se recomienda que sea 0,5 – 2 g/m³ y h de agua recirculada.
- La filtración del agua se realizará antes de la desinfección y tiene como objeto retener la materia en suspensión. Se dispondrán filtros (de arena de sílice ó de diatomeas) cuyo tamaño será adecuada a los volúmenes de recirculación mínimos exigidos y tales que la velocidad de filtración sea entre 20 – 40 m³/h y m² de filtro para los de arena de sílice y entre 5 – 10 m³/h y m² de filtro en los de diatomeas. Los filtros serán cubas de poliéster o acero inoxidable y de forma que se pueda retirar fácilmente los elementos filtrantes y proceder a la limpieza del filtro. Periódicamente se procederá a limpiar los filtros para lo cual se preverá la posibilidad de invertir el sentido de filtrado y la eliminación de esta agua.
- La velocidad del agua estará limitada para que las perdidas de carga no sean elevadas y para que la potencia de las bombas de impulsión este en márgenes razonables, por ello la velocidad de aspiración estará

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

comprendida entre 1,2 – 1,5 m/s y la velocidad de impulsión estará entre 1,5 – 2,5 m/s.

- La desinfección del agua se realiza para destruir los microorganismos patógenos que puede contener el agua procedente del vaso y ya filtrada, de forma que se eviten riesgos de contaminación para nadadores o usuarios, además impedirá el crecimiento de algas, hongos, bacterias y virus, además el agua en el vaso mantendrá una capacidad desinfectante residual. La desinfección se hará con dosificación automática con control y regulación automática y manual. Los desinfectantes utilizados son: el cloro, el bromo, el ozono, la electrolisis, etc. La regulación de los sistemas de desinfección del agua debe ser automática de forma que mida los parámetros del agua a la salida de los filtros y dirija los dispositivos de corrección de los dosificadores.
- El pH mide la acidez o alcalinidad del agua (escala: 0 – 14) la mayoría de los desinfectantes tienen su mayor eficacia en un agua en equilibrio por lo que el control del pH constituye un aspecto muy importante, su valor debe mantenerse entre 7 y 8.
- Los depósitos de productos químicos para la desinfección deberán estar protegidos para impedir fugas imprevistas y contar con cubetas estancas.
- La calidad del agua será tal que mantendrá los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que exija la normativa higiénico-sanitaria de piscinas de uso público que le sea de aplicación, Autonómica y/o Municipal.

7.10 Temperatura del agua del vaso:

- Los vasos para uso deportivo de natación, natación sincronizada, water-polo y saltos, tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Real Federación Española de Natación)
- Los vasos polivalentes tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Los vasos de recreo tendrán el agua a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (ITE 10.2 Acondicionamiento de piscinas)
- Los vasos de enseñanza tendrán el agua a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (ITE 10.2 Acondicionamiento de piscinas), no obstante es recomendable que pueda llegar a 28°C
- Los vasos de chapoteo tendrán el agua a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (ITE 10.2 Acondicionamiento de piscinas), no obstante es recomendable que pueda llegar a 28°C
- Los vasos especiales tendrán la temperatura adecuada a su finalidad.

7.11 Vestuarios – aseos:

- Preferentemente los vestuarios – aseos estarán al mismo nivel que el recinto de las piscinas.
- Los vestuarios serán de uso solo para la piscina cubierta, únicamente se admitirá el uso de los vestuarios para otras Salas deportivas cuando solo existan vasos de enseñanza y/o chapoteo.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- A los vestuarios se accederá desde la zona de pies calzados y desde ellos a través de la zona de pies descalzos se accederá al recinto de piscinas.
- El n° mínimo de vestuarios es de 2, uno para cada sexo.
- Los vestuarios se dimensionarán para un n° de usuarios en función del aforo, el cual es proporcional a los m² de lámina de agua, el aforo se fija en 1 usuario / 3m² lamina de agua (Aforo: m² lamina agua/3), considerando que no usan los vestuarios a la vez todos los usuarios, establecemos 1/2 del total del aforo (N° usuarios de vestuarios simultáneos: m² lamina agua/6) el n° de usuarios simultáneos obtenido se repartirá al 50% en vestuarios masculinos y femeninos y se dispondrá de una superficie por cada vestuario de 1 m²/usuario. El espacio de vestuarios puede subdividirse en zonas no inferiores a 20 m² mediante elementos separadores ligeros, conectadas entre si para usos diferenciados (vestuario infantil, socios, etc.)
- Cuando la instalación disponga de vasos deportivos de natación se dispondrán vestuarios de equipo, estará previsto para un n° mínimo de 10 deportistas o usuarios. Se dispondrá de una superficie mínima de 2m²/usuario para vestuario de equipo.
- Se dispondrán cabinas de uso individual, una al menos por vestuario.
- Los vestuarios de árbitros, profesores y técnicos serán dos como mínimo, uno para cada sexo, excepto en vasos de enseñanza que podrá ser solo uno. Estará previsto para un n° mínimo de 3 usuarios.
- Próximo ó anexo al vestuario de árbitros, profesores y técnicos habrá un despacho con el mobiliario apropiado para las actividades propias de este tipo de usuario, como la redacción de actas, informes, reuniones, etc. Para su uso por técnicos y profesores es conveniente que tenga visión directa del recinto de piscinas.
- La altura recomendada de vestuarios y aseos será de 3,00 m y la altura libre mínima entre el pavimento y el obstáculo mas próximo, luminaria, conducto de instalaciones, etc. será de 2,80 m
- Para el cambio de ropa en vestuarios, se colocarán bancos fijos con una longitud mínima 0,60m/usuario (0,50 m/usuario para escolares), ancho entre 0,40 m - 0,45 m y una altura de 0,45 m. La separación libre mínima entre dos bancos ó entre banco y paramento ó taquilla será de 2m. Los bancos estarán sujetos a los muros mediante escuadras o elementos similares y sin patas para favorecer la limpieza ó serán de fábrica. Se dispondrán percheros resistentes sobre los bancos, 2 Uds./usuario a una altura de 1,65 m y de 1,40 m para escolares, no son admisibles ganchos por seguridad. Los bancos y percheros estarán constituidos por materiales resistentes a la humedad, los elementos metálicos serán inoxidables o protegidos de la corrosión. En los vestuarios colectivos se dispondrá una taquilla por usuario, en los vestuarios de equipo se dispondrán dos armarios colectivos con llave para equipos en cada vestuario ó una taquilla por usuario. Las taquillas y armarios de equipo serán de material resistente a la humedad e inoxidable.
- Próximo a los vestuarios se dispondrán como mínimo dos zonas de duchas colectivas, una para cada sexo, con espacio para secado, así como dos zonas de aseos y lavabos, una para cada sexo, las zonas de duchas y las zonas de aseos y lavabos no serán de paso una para la otra, tendrán acceso directo

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

desde el pasillo de pies descalzos o desde el vestuario y estarán protegidas de vistas desde los pasillos de circulación.

- Se dispondrán duchas en proporción de 1 ducha/20 usuarios, con un mínimo de 5 (4 en Piscinas de Enseñanza 1,2, 3 y 4) y 1 en vestuarios de árbitros, profesores. Las duchas serán preferentemente colectivas, no obstante pueden disponerse una o dos individuales, no se admiten platos de ducha excepto en vestuarios de árbitros, profesores. Cada ducha dispondrá de una superficie de 0,90 x 0,90 m², el paso mínimo entre duchas será de 0,80 m y entre duchas y pared de 1 m.
- Los rociadores de las duchas serán antivandálicos, colocados a una altura de 2,20 m y tendrán pulsadores temporizados (30 s), si hay hidromezcladores serán también temporizados.
- Se dotará con instalación de agua caliente sanitaria A.C.S. para duchas con un consumo previsto de 25 l por usuario a una temperatura de uso de 38°C y un caudal de 0,15 l/s. La instalación dispondrá de un Depósito acumulador de A.C.S. con capacidad para el nº total de usuarios previsto en un periodo punta de 15 minutos y con un tiempo de recuperación inferior o igual a 60 minutos para escolares y de 90 minutos para el resto. La temperatura de acumulación será de 60°C, la temperatura del agua en el circuito de agua caliente estará por encima de 50°C en el punto mas alejado del circuito ó en la tubería de retorno del acumulador, la instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C y cumplirá el R.D. 865/2003 para la prevención y control de la legionelosis. El agua caliente podrá llegar previamente mezclada con agua fría a los puntos de ducha, disponiendo una válvula hidromezcladora (Salas Escolares) o bien llegará el agua caliente directamente del Acumulador disponiendo hidromezcladores individuales temporizados, en el primer caso es recomendable que al menos una ducha tenga hidromezclador individual temporizado. En ambas soluciones habrá un circuito de recirculación del agua caliente. Los conductos de agua caliente y fría estarán calorifugados para evitar pérdidas caloríficas o condensaciones, serán vistos o fácilmente accesibles, en paramentos verticales y en zonas accesibles a los usuarios quedarán empotrados. La instalación de agua fría y caliente de cada zona húmeda estará independizada mediante válvulas de corte.
- En la zona de secado se dispondrán secadores de pelo eléctricos.
- Cada zona de aseos, masculina y femenina, dispondrá de cabinas de inodoros y lavabos, en proporción de 1 por cada 50 usuarios con un mínimo de cuatro cabinas y 2 lavabos (2 cabinas y 2 lavabos en Piscinas de Enseñanza 1,2, 3 y 4) en los aseos masculinos se sustituirá la mitad de inodoros por urinarios, con un mínimo con dos urinarios. Las cabinas de inodoro tendrán una anchura mínima de 1 m y una de ellas adaptada para minusválidos. Los vestuarios de árbitros, profesores tendrán como mínimo una cabina y un lavabo. Los pestillos de cierre de las puertas de las cabinas dispondrán de sistema de desbloqueo desde el exterior.
- Sobre los lavabos se dispondrán espejos inastillables en pared.. Se colocarán dosificadores de jabón y toalleros para papel ó secamanos.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Los inodoros dispondrán de fluxores de descarga, para lo cual se dotará de la instalación de presión necesaria si esta no fuera suficiente. Los grifos de lavabos y los urinarios dispondrán de pulsadores temporizados. Se dispondrán portarrollos cerrados con llave.
- Los lavabos no tendrán pie, se colocarán sobre encimeras resistentes al agua, suspendidos de la pared mediante escuadras o elementos similares. Sobre los lavabos se dispondrán espejos inastillables.
- Deben disponerse tomas de agua y sanitarios de vertido para limpieza.
- Los vestuarios y aseos dispondrán de luz natural. Se cuidará que por las ventanas no haya vistas a la zona de cambio de ropa ó a las duchas. La iluminación artificial alcanzará un nivel medio de 150 lx. Las luminarias serán estancas y protegidas de impacto mediante rejillas o difusores. Se dotará de alumbrado de emergencia y señalización. Los enchufes serán con toma de tierra, disponiéndose al menos dos junto a los lavabos y otros dos junto a los bancos. En la zona de duchas no habrá ni será accesible ningún elemento eléctrico (interruptor, toma de corriente). Todos los elementos metálicos de vestuarios y aseos, la instalación de agua fría, caliente y calefacción estarán conectados a una red equipotencial de tierra.
- Los vestuarios y aseos dispondrán preferentemente de ventilación natural, además dispondrán de ventilación forzada con una renovación mínima de aire de 8 volúmenes a la hora ó 30 m³/persona y hora. Se dispondrá en cualquier caso de extracción mecánica de aire en las zonas de duchas y sobre las cabinas de inodoros.
- Los vestuarios, duchas y aseos dispondrán de instalación de calefacción ó climatización de forma que la temperatura mínima a 1 m del suelo sea de 22°C.
- Los revestimientos de los paramentos verticales se harán en toda su altura con materiales impermeables, resistentes a la humedad y al golpe, de fácil limpieza y conservación. Las esquinas y aristas estarán redondeadas, al igual que los encuentros con el pavimento.
- Los pavimentos serán impermeables, sin relieves que acumulen suciedad, de fácil limpieza, antibacterianos, resistentes a productos higiénicos de limpieza, antideslizantes con pie calzado y descalzo, en seco o mojados, con pendientes del 2% hacia sumideros sifónicos y en las duchas hacia canaletas de desagüe a lo largo de los muros bajo los rociadores. Las rejillas serán de material inoxidable.
- Los pavimentos en el espacio de duchas tendrán una resistencia al deslizamiento de forma que sean al menos de clase B (ángulo $\geq 18^\circ$) según método de ensayo DIN 51097 que determina las propiedades antideslizantes para zonas mojadas con pies descalzos.
- Los pavimentos en zonas de aseos y cambio de ropa tendrán una resistencia al deslizamiento de forma que sean al menos de clase B (ángulo $\geq 10^\circ$) según método de ensayo DIN 51130 que determina las propiedades antideslizantes para zonas con pies calzados.
- En caso de que existan falsos techos serán resistentes a la humedad y a los golpes.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Las puertas de paso tendrán hojas con dimensiones mínimas de ancho 0,80 m y alto 2,10 m, en cabinas el ancho mínimo de las puertas será de 0,70 m, excepto en las cabinas de minusválidos que tendrán un ancho mínimo de 0,80 m, los marcos y puertas serán resistentes al golpe y a la humedad. Las puertas de acceso a vestuarios dispondrán de muelles de cierre y cerradura. Las puertas de cabinas y las de zonas húmedas no llegarán al suelo, quedando a una altura de 0,10m.
- Los vestuarios y aseos estarán adaptados para el uso por personas con movilidad reducida, para lo cual cumplirán la legislación que les sea de aplicación, no obstante se incluirá como mínimo lo siguiente: En la zona de cambio de ropa se dispondrá barra de apoyo sobre bancos a una altura de 0,75 m separada 5 cm de la pared y el espacio libre de aproximación al banco será de 1,20 m por 0,80 m, la altura de las perchas será de 1,40 m. Las cabinas de inodoro dispondrán de lavabo en su interior y en ellas se podrá inscribir un círculo de 1,50 m libre obstáculos en toda su altura, el inodoro tendrá al menos en un lado un espacio libre de 0,80 m para la transferencia lateral desde la silla de ruedas, instalando barras auxiliares de apoyo, de sección circular de 5 cm de diámetro, a 0,75 m de altura y separación entre ejes de 0,70 m siendo abatible verticalmente la del lado de la transferencia, el asiento estará a una altura de 0,45 m, el mecanismo de descarga tendrá un pulsador de dimensión mínima 5 cm x 5 cm, las puertas abrirán hacia el exterior, tendrán mecanismos de retorno y permitirán un hueco libre de paso de 0,80 m con un espacio libre de aproximación de 1,20 m, las manillas estarán entre 0,85 m y 1,05 m de altura complementadas por un tirador horizontal de 0,30 m de longitud, los pestillos dispondrán de sistema de desbloqueo desde el exterior. Los lavabos serán sin pedestal, situados a altura de 0,80 m en su parte superior y dejando un hueco bajo él libre de obstáculos de 0,68 m con un fondo mínimo de 0,25 m, la grifería será monomando, palanca ó célula fotoeléctrica. Las duchas accesibles dispondrán de un espacio de utilización de 0,90 m x 1,20 m y si es ducha individual será de 1,50 m x 1,50 m, estarán dotadas de asiento abatible de 0,45 m de ancho por 0,40 m de fondo a 0,45 m de altura y separados 0,15 m de la pared donde se sujeta, se instalará una barra de apoyo vertical y otra horizontal a 0,75 m de altura, la grifería estará situada en el paramento perpendicular al del asiento abatible y a una altura entre 0,70 m y 1,20 m.

7.12 Botiquín/Enfermería:

- Estará bien comunicado con el recinto de piscinas y tendrá una fácil salida hacia el exterior para evacuación de accidentados.
- Dispondrá como mínimo de lavabo, inodoro, ducha, espacio de cambio de ropa, espacio para camilla, mesa y silla, teléfono y estará dotado con equipos de primeros auxilios y material de cura.
- La altura recomendada será de 2,80 m y la altura libre mínima de 2,60 m. Preferible con iluminación natural y nivel medio de iluminación artificial de 250 lx, de 500 lx sobre camilla y una temperatura mínima de 22°C.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

Dispondrá de ventilación natural o forzada con una renovación mínima de 6 volúmenes a la hora.

7.13 Salas de Puesta a punto / Musculación

- Se situarán preferentemente al mismo nivel que el recinto de piscinas y los vestuarios.
- Dispondrá de un almacén de material deportivo específico para esta Sala.
- La puerta de acceso será doble para permitir la entrada y salida de las máquinas.
- Los paramentos serán resistentes a golpes hasta 2 m de altura al menos.
- El pavimento deberá ser capaz de resistir y amortiguar la caída de elementos pesados.
- Tendrá una altura de 3,00 m, preferible con iluminación natural y nivel medio de iluminación artificial de 200 lx y una temperatura mínima de 20°C. Si la sala está climatizada la temperatura máxima será de 23°C.
- Dispondrá de ventilación de forma que aporte aire exterior limpio con un volumen mínimo de 40 m³/h por deportista.
- Se dispondrán paramentos y techos absorbentes del sonido para acondicionamiento acústico del local.

7.14 Sala de masaje:

- Estará en los vestuarios ó próxima a ellos, dispondrá de lavabo y podrá disponer de una pequeña sala de espera previa a la sala de masajes.
- Tendrá una altura mínima de 3,00 m y una altura libre de 2,80 m, preferible con iluminación natural y nivel medio de iluminación artificial de 250 lx y una temperatura mínima de 23°C. Si la sala está climatizada la temperatura máxima será de 23°C. Dispondrá de ventilación natural o forzada con una renovación mínima de 8 volúmenes a la hora.

7.15 Área de Control de Dopaje:

- Se dispondrá cuando se celebren competiciones oficiales y durante la competición tendrá un uso exclusivo para este fin. Dispondrá de una sala de trabajo con mesa, sillas y un frigorífico con llave, dos salas de toma de muestras (para hombres y mujeres) con inodoro, lavabo y espejo y una sala de espera con frigorífico (Espacios regulados por R.D. 41/1996)
- Tendrá una altura mínima de 3,00 m y una altura libre de 2,80 m, preferible con iluminación natural, nivel medio de iluminación artificial de 250 lx en la zona de trabajo y de 150 lux en sala de espera, la temperatura mínima será de 20°C. Dispondrá de ventilación natural o forzada con una renovación mínima de 6 volúmenes a la hora.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

7.16 Cámara de Salidas / Llegadas:

- Es necesaria en las piscinas donde se vayan a celebrar competiciones oficiales de natación. Debe estar junto a los vasos de calentamiento.
- Su tamaño depende del número de participantes y de las pruebas que son simultáneas, se debe prever 1,20 m² por nadador.
- Tendrá iluminación natural preferentemente, nivel medio de iluminación artificial de 150 lx y una temperatura mínima de 24°C.
- Dispondrá de ventilación de forma que aporte aire exterior limpio con un volumen mínimo de 30 m³/h por deportista.

7.17 Cronometraje electrónico / Control de saltos:

- Es necesaria en las piscinas donde se vayan a celebrar competiciones oficiales de natación y/o saltos.
- La sala de cronometraje electrónico dará directamente a la playa del vaso de natación frente al muro de llegada, dispondrá de las conexiones necesarias con los paneles de clasificación automática. La sala tendrá visión directa al vaso y playas mediante elementos acristalados. La sala de control de saltos estará junto al foso de saltos.
- Tendrán iluminación artificial de 300 lx y una temperatura de 24°C.

7.18 Oficina de Administración:

- Este espacio esta destinado a las personas encargadas de la gestión administrativa de la instalación deportiva. La entrada a este espacio debe ser desde el vestíbulo de público ó tener conexión directa con él y con el control de acceso/recepción.
- En Piscinas con vasos polivalentes o de natación dispondrá de dos espacios diferenciados, la oficina general y un despacho como mínimo (Dirección).
- Tendrá una altura mínima de 3,00 m y una altura libre de 2,80 m, preferible con iluminación natural y nivel medio de iluminación artificial de 400 lx y una temperatura mínima de 20°C. Dispondrá de ventilación natural o forzada con una renovación mínima de 3 volúmenes a la hora. Tendrá aislamiento acústico de 35 dBA, de forma que el nivel de ruido procedente de los espacios deportivos no produzca molestias.
- Dispondrá de instalación de telefonía y datos extendido al control-recepción y a otros espacios para un sistema de gestión centralizada por ordenador.

7.19 Almacén de material deportivo:

- El almacén de material deportivo dará directamente al recinto de piscinas y estarán al mismo nivel. El almacén de material deportivo tendrá un ancho mínimo de 4 m (en piscinas con vasos de enseñanza solamente el ancho puede ser de 3 m) y altura mínima de 2,20 m, dispondrá de puerta de

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

dimensiones libres mínimas 2,10 m de alto por 2,40 m de ancho y contará con una fácil comunicación con el exterior.

- Si es posible dispondrá de iluminación natural, la iluminación artificial alcanzará un nivel mínimo de 100 lx. Se dispondrá al menos un enchufe con toma de tierra
- Los revestimientos de los paramentos verticales se harán en toda su altura con materiales resistentes a roces y golpes, de fácil limpieza y conservación.
- Los pavimentos serán resistentes al desgaste, no abrasivos y de fácil limpieza y conservación.

7.20 Salas de instalaciones:

- Se preverán espacios para la instalación de tratamiento de agua (vaso de compensación, bombas, filtros, desinfectantes) así como para las instalaciones de calentamiento del agua, producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria de duchas y lavabos, calefacción, climatización, ventilación, grupo electrógeno, etc.
- Es necesario que estas salas dispongan de accesos directos desde el exterior para las labores de conservación y mantenimiento.
- Sus dimensiones mínimas y requisitos vienen regulados por la normativa técnica específica de cada instalación, se cuidará especialmente el almacenamiento de productos químicos para el tratamiento y depuración del agua en zonas diferenciadas, aisladas, bien ventiladas y sin posible acceso a los usuarios.

7.21 Espacios para espectadores:

- Los espacios destinados a los espectadores, vestíbulos, control de accesos, circulaciones (pasillos y escaleras) graderíos, aseos, bar, cafetería, etc. cumplirán los requisitos de la legislación vigente y en especial la de Espectáculos Públicos e Incendios. Para graderíos se recomienda el cumplimiento de la norma europea EN 13200-1:2003 “Criterios de diseño para los espacios para espectadores”.
- Los graderíos dispondrán de una perfecta visibilidad del vaso deportivo, fácil acceso y circulación, así como evacuación rápida y segura en tiempos mínimos.
- La perfecta visibilidad del graderío requiere que las líneas de visión desde los ojos de los espectadores hasta cualquier punto de la lamina de agua no tengan obstrucción alguna, ya sea por otros espectadores o por elementos constructivos como barandillas, estructuras de cubierta, graderíos superiores, etc. La distancia máxima de visión depende de la velocidad de la actividad deportiva y del tamaño del objeto, los valores recomendados de distancia horizontal de visión en instalaciones de interior estarán entre 60 m (velocidad rápida y tamaño pequeño) y 110 m (velocidad lenta y tamaño grande) véanse la normas antes citadas.
- Para asegurar una rápida evacuación, la anchura mínima de las salidas del graderío será de 1,20 m, el ancho total de las salidas será múltiplo de 1,20

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

m y será tal que todos los espectadores puedan alcanzar un lugar seguro en un tiempo máximo de 2 minutos, considerando que con esa anchura de 1,20 m, pueden salir razonablemente por una superficie horizontal 100 personas/min y en superficie escalonada 79 personas/min. La máxima distancia de recorrido para alcanzar una salida será de 30 m para instalaciones de interior.

- No se admiten plazas de espectadores de pie.
- El fondo de las filas tendrá 0,85 m dedicando 0,40 m al asiento y 0,45 m al paso. El ancho disponible para cada asiento será de 0,50 m
- Los asientos deben estar numerados de forma visible y pueden consistir en los escalones de la propia grada, bancos corridos o asientos individuales. Los escalones solo son admisibles en instalaciones de aforo inferior a 250 espectadores y en ellos se diferenciará por tratamiento y relieve la zona de asiento de la de paso.
- La altura del plano del asiento respecto del plano de apoyo de los pies estará entre 0,40 m y 0,45 m, es recomendable que sea de 0,42 m
- Cuando se dispongan asientos individuales la altura del respaldo será al menos 0,30 m
- Para tener mayor funcionalidad deportiva y/o aumentar el nº de espectadores se pueden disponer graderíos telescópicos.
- El recinto de piscinas debe quedar de forma no accesible para los espectadores mediante barandillas, diferencias de nivel u otros elementos que no impidan la visibilidad.
- El graderío debe disponer de una zona accesible y apta para espectadores en silla de ruedas, reservándose 1 plaza/200 espectadores y como mínimo dos. La dimensión de cada plaza será de 1m de ancho por 1,25m de fondo y estarán señaladas con el símbolo de accesibilidad. Próximo a esta zona del graderío se dispondrán aseos adaptados para espectadores en silla de ruedas. Para llegar hasta esa zona del graderío, el aseo adaptado, las zonas de vestíbulo, el bar ó cafetería existirá de un itinerario accesible, salvando las diferencias de nivel, si existen, mediante rampas de pendiente máxima 8% y recomendada 6%, ascensores ó elevadores y con un recorrido no mayor de tres veces el itinerario general.
- En Piscinas donde se celebren competiciones oficiales se dispondrá en el centro de la tribuna principal el graderío de autoridades, separado del público y que tendrá entrada independiente de las de público así como una zona de recepción y estancia.
- Se dispondrá de un sistema de megafonía para transmisión de mensajes para el uso normal, la competición, para seguridad, en caso de emergencia, para música, etc.
- El graderío dispondrá de ventilación de forma que aporte aire exterior limpio con un volumen mínimo de 30 m³/h por espectador. La ventilación será forzada para un nº de espectadores mayor de 500.
- El graderío tendrá iluminación artificial la cual no deslumbrará la visión de los deportistas y conseguirá un nivel mínimo de iluminación de 100 lx.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

- Las luminarias serán estancas. Existirá alumbrado de emergencia y señalización, disponiéndose sobre las salidas, los recorridos de evacuación como pasillos, escaleras y vestíbulos y en las dependencias accesorias como aseos, bar cafetería, etc. Los escalones tendrán pilotos de señalización l/m lineal.

7.22 Señalización:

- Se dispondrán señalizaciones claras (carteles ó pictogramas) de todos los espacios de deportistas y de público, así como de los caminos a esos espacios, en posiciones fácilmente visible.
- En el vestíbulo se dispondrá un panel informativo de los espacios de la instalación deportiva con un plano esquemático.
- Se puede utilizar un criterio de colores para diferenciar fácilmente los distintos espacios.
- Las salidas de emergencia y las direcciones de los recorridos de evacuación dispondrán de las señales indicativas según la normativa vigente.
- Información al usuario: Se dispondrán carteles informativos que indiquen los usos permitidos, los usos no permitidos y las precauciones que se han de tomar al utilizar la instalación. También indicarán el nombre del titular del espacio o la instalación deportiva, la dirección y el teléfono del servicio de mantenimiento y del centro sanitario donde avisar o acudir en caso de accidente. Los carteles se colocarán en lugar bien visible para el deportista o usuario.
- Para personas ciegas los itinerarios se marcarán con diferente textura en el pavimento y para personas con visión reducida mediante colores vivos que contrasten. Habrá una señalización específica para invidentes mediante inscripciones en Braille ó con texturas diferentes. Los inicios y finales de escaleras se diferenciarán mediante una franja de pavimento de color y textura diferente y contrastado con el pavimento circundante.

7.23 Marcadores:

- Se dispondrán marcadores que permitan mostrar los resultados de las pruebas y demás información dirigida tanto a deportistas como a espectadores. El tipo de marcador podrá ser manual para competiciones de nivel local y regional. Será electrónico para competiciones nacionales ó internacionales, es conveniente también disponer de un sistema central de marcadores capaz de indicar eventos, competidores y resultados. El tamaño del marcador debe ser adecuado a la máxima distancia desde donde se pretende ver.

NIDE 2005	P NORMA DE PROYECTO	PISCINAS CUBIERTAS	PC
---------------------	----------------------------------	---------------------------	-----------

8 BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- Reglamentos de Federaciones de Federaciones Deportivas
- Normas UNE-EN Pavimentos y Equipamientos Deportivos
- Normas UNE-EN de Iluminación de instalaciones deportivas
- Normas UNE-EN Instalaciones para espectadores en espacios deportivos.
- Normas UNE Accesibilidad.