

CONSIDERACIONES ACUSTICAS EN EL NUEVO “CENTRO DE ENTRETENIMIENTO LARCO MAR” EN LIMA, PERU

REFERENCIA PACS: 43.55.Fw, 43.55.Ka, 43.50.Gf

Moreno Ruiz, Jorge Néstor; Jiménez Dianderas, Carlos Rolando; Nakano Higa, Alberto Mitsuo
Laboratorio de Acústica, Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú Jiménez y
Moreno Consultoría Acústica
Calle Garcilazo de la Vega 163, Urbanización Salamanca de Monterrico
Lima 3. Perú
Tel: 51 14 351 151
Fax: 51 14 351 151
E-Mail: cjim@terra.com.pe

ABSTRACT

The “*Centro de Entretenimiento Larco Mar*” (“*Larco Mar* Entertainment Center”) has recently been inaugurated in the City of Lima, Peru. The center is located in a residential area of the city, facing the sea. Due to the peculiar characteristics of the commercial spaces it was necessary the acoustical design of a floating floor over the twelve cinemas, the interior acoustical treatment of these cinemas and the acoustical isolation of the “Hard Rock Café Lima”.

RESUMEN

Recientemente ha sido inaugurado en la ciudad de Lima, Perú, el “Centro de Entretenimiento Larco Mar”, situado en una zona residencial de la ciudad frente al mar. Por las características de los locales fue necesario incluir en el proyecto consideraciones acústicas entre las que se citarán el diseño de una losa flotante sobre doce salas de cine, el tratamiento acústico interior de las salas y el aislamiento acústico del local “Hard Rock Café Lima”.

ANTECEDENTES. EL CENTRO DE ENTRETENIMIENTO

El nuevo Centro de Entretenimiento “Larco Mar” esta ubicado en la zona residencial del Distrito de Miraflores en la ciudad de Lima, Perú. El centro se desarrolla bajo el existente “Parque Salazar” en el talud de la franja costera de la ciudad, enfrentando al mar. Este complejo consiste de tres pisos (a nivel de sótanos) en los que se desarrollan varios locales comerciales, de juego, diversos tipos de restaurantes, doce salas de cine, discotecas, dos amplios patios de comidas con un área de espectáculos (terrace) y tres niveles de estacionamiento vehicular. Las múltiples funciones que estarían involucradas en el proyecto, así como la mixtura de las mismas, determinaron la necesidad de consideraciones acústicas en muchos de los espacios resultantes.

El aislamiento acústico en varios de los locales que generan elevados niveles de presión sonora así como el adecuado diseño y configuración del sistema de publifusión fueron determinantes para respetar el nivel de ruido máximo que podría ser percibido en el nivel superior del Parque Salazar (70db en horario diurno y 60dB en horario nocturno, de

acuerdo a la Ordenanza Municipal para el Control de Ruidos). Una breve descripción de los elementos y soluciones adoptadas para los casos antes mencionados serán presentados a continuación.

LAS SALAS DE CINE

El complejo de doce salas de cine, con capacidades entre 103 y 347 butacas, y que incluye un cine-bar, está ubicado en el Nivel -4 (sótano) del proyecto "Larco Mar" (Figura 1). Debido a la distribución contigua entre la mayoría de las salas y a la calidad acústica exigida por el operador, se requirió plantear un cuidadoso diseño de aislamiento sonoro y de tratamiento acústico interior. Se tuvo como objetivos de diseño acústico lograr niveles de ruido de fondo menores a los determinados por la curva NC-30 y tiempos de reverberación a 500 Hz entre 0.35s y 0.70s de acuerdo al tamaño de la sala.

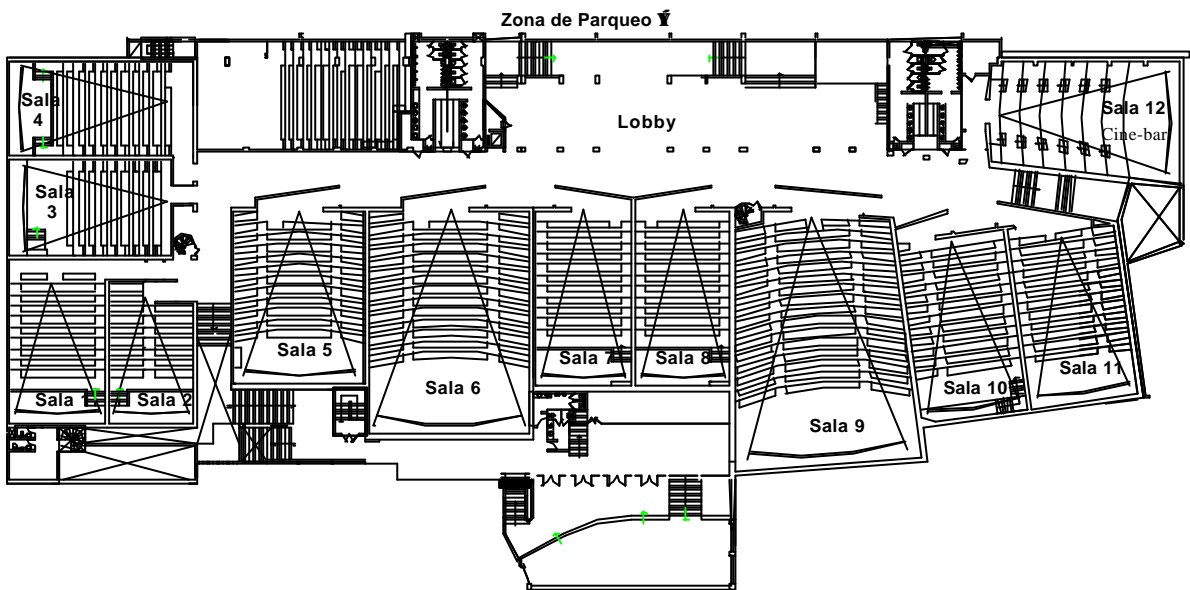


Fig. 1. Distribución en planta de las doce salas de cine (Proyecto "Larco Mar", Nivel -4)

Control de ruido

El planteamiento arquitectónico de los multicines previó el requerimiento de muros bastante anchos entre las doce salas. A su vez, ante la presencia en este mismo nivel de zonas de parqueo subterráneo, las salas estaban protegidas por el uso de juntas de construcción entre ambos bloques estructurales, así como por el amplio Lobby del complejo. Sin embargo, el techo de los locales constituía el nivel de piso superior correspondiente a locales comerciales y a las amplias plazas de comidas y eventos, lo cual motivó la habilitación de una losa flotante que proteja esta superficie.

Para el caso de las paredes medianeras, se utilizaron dos tipos de paredes para obtener un alto aislamiento sonoro, ambos basados en una pared doble con cámara de aire intermedia. El primer tipo, utilizado en la mayoría de paredes de las doce salas, estaba constituido por un muro de ladrillo sílico-calcareo de 20cm (304kg/m^2), una cámara de aire de 10cm, una manta de lana de vidrio de 5cm de espesor (96kg/m^3) y otro muro de ladrillo sílico calcareo de 15cm (460kg/m^2). En las caras expuestas de ambos muros se aplicó una tarrajeo (revoque) de 25mm (60kg/m^2). El segundo tipo, fue utilizado en las paredes laterales de las salas de cine 5, 6 y 9. La diferencia consistió en sustituir el muro de ladrillo de 20cm por un muro de concreto de igual espesor (480kg/m^2), sin tarrajeo en la cara expuesta. Durante la ejecución de las paredes se puso especial atención en evitar cualquier tipo de conexión física entre ambos muros. Teóricamente, los muros descritos permitirían un aislamiento sonoro (R) de 56dB y 58dB respectivamente.

Come se mencionó, el techo de las salas requirió habilitar una losa flotante para aislarlo del ruido aéreo y de impacto que podría generarse en los diferentes ambientes del nivel inmediato superior. El planteamiento de la losa flotante requirió de un agudo análisis de ésta así como de la losa estructural inferior debido a la serie de limitaciones interpuestas, la principal de las cuales era la sobrecarga estructural que representaría la nueva sobrelosa y que no había sido contemplada en el proyecto de estructuras original.

La losa base estructural de concreto tiene un espesor de 18cm. El paño estructural típico (entre vigas y columnas) define un área libre de $(8.30 \times 10.50) \text{m}^2$. Con la finalidad de conocer el comportamiento dinámico de dicha losa estructural, se procedió a realizar un análisis modal de la misma y conocer sus frecuencias propias. El análisis consistió en excitar un paño prototipo con un pulso generado por un martillo de impacto de aproximadamente 40 kg. de masa, garantizando suficiente energía para hacer un análisis de baja frecuencia. Se tomaron lecturas en cuatro posiciones. En todas ellas se registró la presencia de dos modos importantes a 47Hz y 61Hz y en menor magnitud a 35Hz y 78.5Hz (Figura 2). Este martillo tiene un ancho de banda limitado a aproximadamente 80 Hz, razón por la cual se procedió a realizar un análisis más detallado con un martillo de menor masa pero con un ancho de banda que cubría sin problemas el rango de interés. Para este nuevo análisis se procedió a definir una retícula de $(0.50 \times 0.50) \text{m}^2$ en el mismo paño estructural, con lo cual se definían 126 posiciones de medición. Se obtuvieron funciones de transferencia aplicando impactos en cada posición de la retícula respecto a un acelerómetro ubicado en una sola posición tomada como referencia. Con estas lecturas fue posible delinear gráficos tridimensionales que muestran la amplitud relativa de los modos de vibración proporcionales a la aceleración de sus elementos. Se confirmaron los modos a 47Hz, 61Hz y 78.5Hz (Figura 3), encontrándose además otros modos significativos a 124, 134 y 158Hz. Este análisis demostró que la estructura base no era rígida, sino por el contrario, poseía una gran movilidad, (entendiéndose ésta como la inversa de la impedancia mecánica: $Z = \text{fuerza/velocidad}$) y por lo tanto se debían evitar coincidencia de modos entre la nueva losa flotante y la losa estructural base.

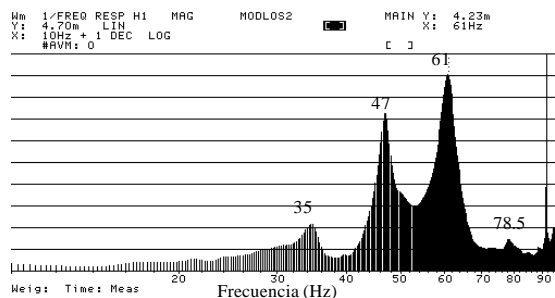


Fig. 2. Lectura de Función de Transferencia de Acelerancia en Losa Estructural

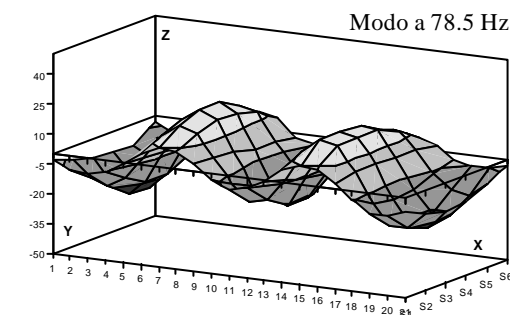
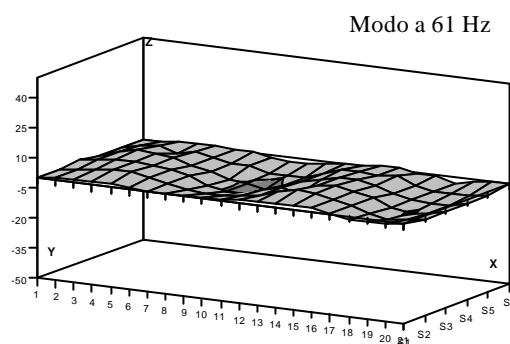
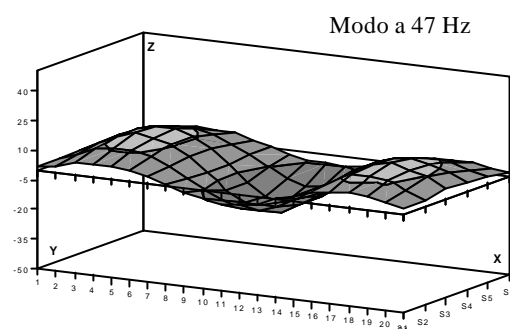


Fig. 3. Modos de vibración de un paño de la Losa Estructural (Ejes: X e Y: divisiones cada 0.50m; Z: amplitud proporcional a la aceleración)

El objetivo de diseño de la losa flotante fue mínimo peso (máximo 120kg/m^2) con un peralte (altura) máximo de 25cm (incluyendo el filtro mecánico). Se analizaron diez diferentes

prototipos de losa flotante. La variación entre cada prototipo estaba dada por la distancia entre viguetas, la forma de las mismas, y por supuesto la configuración del filtro mecánico (resilente). Como en el caso anterior, se realizaron mediciones de transmitibilidad; un transductor de fuerza (fuerza de salida) era ubicado bajo el filtro mecánico sobre el que se apoyaba el prototipo de losa flotante, aproximadamente debajo de una de las viguetas de la losa, otro transductor (fuerza de entrada) se ubicaba en el martillo de impacto. Para los diez prototipos se ubicaron tres posiciones similares de medición. A través de todo el proceso de análisis se logró optimizar tanto la losa flotante como el filtro mecánico (Figura 4).

El prototipo final consistió en una losa encasetonada de 5cm de espesor y viguetas de 7cm de espesor formando una cuadrícula de $(1.25 \times 1.25) \text{m}^2$ (a ejes) apoyada sobre un filtro compuesto por una capa de asfalto en frío semi-aponado apoyado sobre planchas de "fibrablock" (fibra de madera aglomerada con cemento) que descansaba en un arreglo de bandas de jebe que se apoyaban en mantas de lana de vidrio de alta densidad, la misma que finalmente estaba sobre una lámina de papel asfáltico directamente apoyada en la losa estructural. Sobre la losa flotante se disponían las losetas de piso asentadas con cemento. Para habilitar la losa estructural se utilizó concreto aligerado y casetones de poliestireno expandido de $(1.18 \times 1.18 \times 0.12) \text{m}^3$. El análisis modal del prototipo de la losa flotante se realizó en condiciones de cuerpo libre y demostró la presencia de modos no coincidentes con aquellos de la losa estructural mientras que las lecturas de transmitibilidad para las cuatro posiciones evaluadas en el mismo demostraron una frecuencia de corte bastante baja, una ligera ganancia (fuera del rango audible) antes de iniciar la pendiente, la cual ha incrementado su pendiente considerablemente y una mínima contribución de un modo de la losa flotante a 55 Hz (Figura 5).

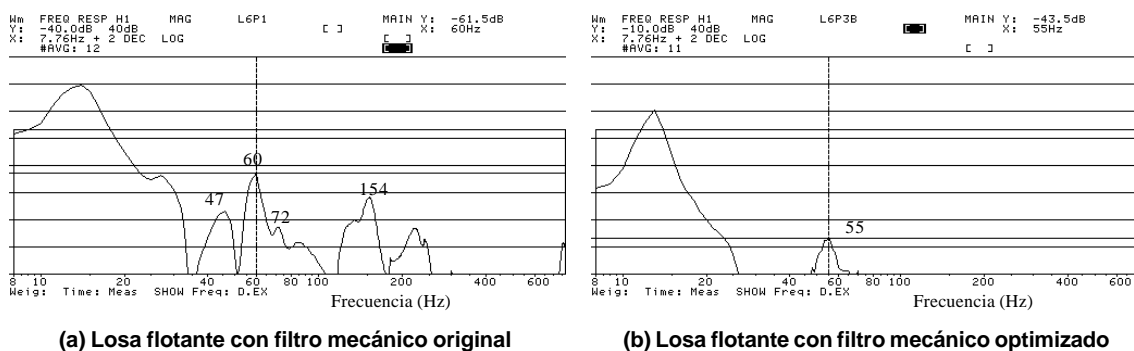


Fig. 4. Comparación de lecturas de transmitibilidad de losa flotante final (versiones original y optimizada)

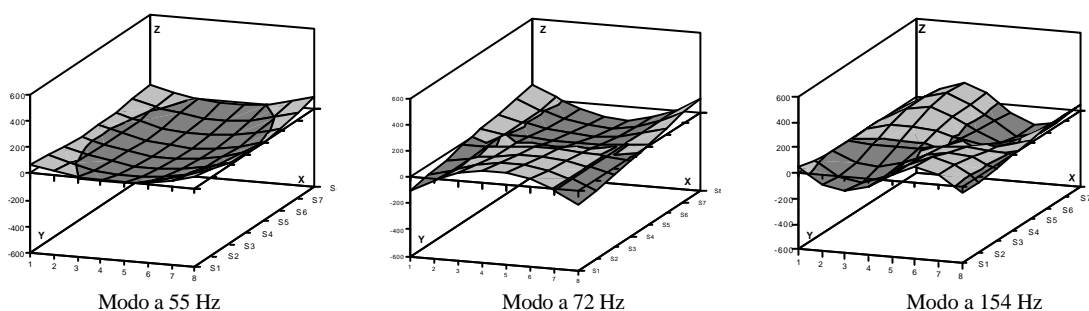


Fig. 5. Modos de vibración de prototipo de losa flotante (Ejes: X e Y: divisiones cada 0.25m, Z: Amplitud proporcional a la aceleración)

Tratamiento Acústico Interior

Si bien el tratamiento acústico interior de las salas de cine es similar en todas ellas, los diferentes elementos utilizados fueron individualmente especificados para cada sala. A través de mediciones acústicas preliminares (obra a nivel de casco terminado) se lograron determinar las frecuencias propias de cada local (modos) no sólo en el dominio de la frecuencia sino también se midió la permanencia de los modos durante el decaimiento del sonido. Estos modos servirían para sintonizar algunos de los elementos utilizados en el tratamiento acústico. El

proyecto arquitectónico, se había previsto únicamente 10cm de espesor para el tratamiento acústico de paredes, limitación exigida por el operador de los cines para no disminuir la capacidad y percepción volumétrica de la sala.

Por este motivo, tanto las paredes del fondo de la sala como detrás de la pantalla de proyección (ecran) tienen una cobertura de lana de vidrio de $e=2''$ y $4''$ respectivamente. El cielorraso son baldosas acústicas suspendidas (NRC 0.75) y el piso con alfombra de alto tránsito en las zonas de circulación. En las paredes laterales se hizo una combinación de tres tipos de absorbentes: material poroso ($e=2''$), placas elásticas y resonadores tipo Helmholtz (Figura 6).

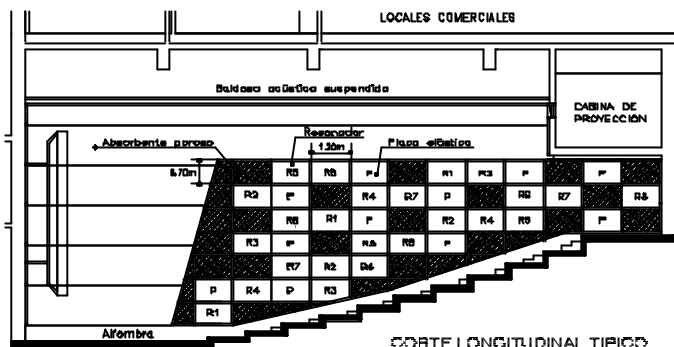


Fig. 6. Tratamiento acústico típico de paredes laterales en las salas de cine

Tanto las placas elásticas como los resonadores estuvieron diseñados específicamente para absorber los diferentes modos detectados inicialmente en cada sala y fueron habilitados con placas de madera aglomerada (MDF-trupán) de espesor variable con una cámara de aire detrás. La distribución de los tres tipos de absorbentes en cada pared lateral buscó evitar enfrentamiento de superficies rígidas para evitar ecos pulsatorios. La ubicación de los altavoces del sistema de audio, tanto de los parlantes frontales como los parlantes *surround* fue determinada a través de la simulación por computadora. Mediciones acústicas luego de habilitado el proyecto permitió establecer que los tiempos de reverberación obtenidos con el tratamiento propuesto en cada sala estaban entre 0.35-0.77s a frecuencias medias. Así mismo, la pérdida de articulación de consonantes ($\%AL_{cons}$) medidas en cada sala varió entre 2.23% y 2.59%.

EL LOCAL “HARD ROCK CAFÉ – LIMA”

En la Rotonda del complejo, sobre las Salas de Cine 7 y 8, se habilitó el nuevo local del “Hard Rock Café – Lima”. Esta cadena de restaurantes se caracteriza por la presentación de espectáculos en vivo, los cuales, de acuerdo a la información técnica dada por el operador, podrían generar niveles de presión sonora cercanos a los 105dB. El local es de forma circular distribuido en dos niveles. La planta baja organiza el escenario, la pista de baile y un área de comensales, además de la zona de servicios (cocina, alacena, depósito y servicios higiénicos). En la planta alta se tiene la zona de cocina y el área de comensales, sin embargo, por su ubicación preferencial en el complejo, casi el 50% del área de paredes de este nivel (área de comensales) es vidriada para obtener una vista de la costa marina (Figura 7). Originalmente este local estuvo planeado para ser utilizado por un restaurante de otras características, con mucho menor nivel de exigencia en el aislamiento sonoro tanto hacia las salas de cine del nivel inferior, hacia las Plazas de Comidas de su mismo nivel de piso, como del nivel superior que era parte de un parque público en donde la Reglamentación de Control de Ruido permitía un nivel de ruido de fondo máximo en horario nocturno de 60 dB. La principal limitación para la propuesta de paredes, piso y techo aislante fue la carga máxima permitida por la estructura de la edificación así como la dimensión misma de estos elementos.

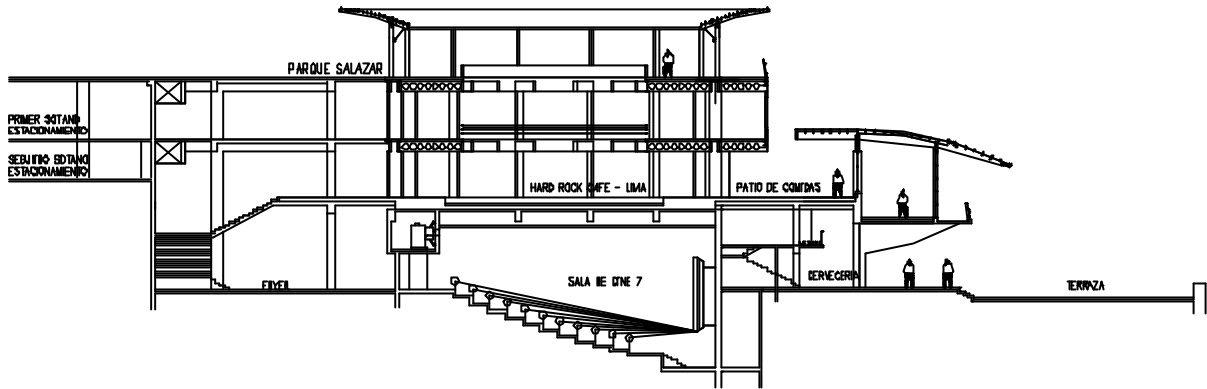


Fig. 7. Sección Longitudinal a través del “Hard Rock Café – Lima” (Proyecto “Larco Mar”)

Piso

En el área de piso correspondiente a la planta baja de este local no fue habilitada la losa flotante antes descrita. Debido a que además de obtener un alto aislamiento al ruido aéreo debía preverse el ruido de impacto (en la pista de baile) y al uso de hasta cinco diferentes niveles de piso terminado, se utilizó un piso compuesto flotante de madera (Figura 8). Los elementos que forman la estructura tridimensional de madera son bastante robustos para dar la rigidez necesaria al piso. Los puntales de madera estaban apoyados sobre almohadillas de neoprene directamente asentados en la losa estructural (techo de las Salas de Cine). El piso machihembrado de madera (propuesto por arquitectura) apoyado en durmientes, está asentado en mantas de lana de vidrio que a su vez se apoyan en planchas de madera aglomerada (MDF-trupán) que descansan en planchas de neoprene; todo este piso compuesto se asienta en la estructura de madera. Para evitar la amplificación sonora en la cavidad formada entre el piso flotante y la losa estructural, se dispone sobre esta última mantas de lana de vidrio de baja densidad de $e=3$ ” y, verticalmente formando una cuadrícula, se sujetan a los puntales de la estructura de madera planchas rígidas de lana de vidrio de $e=1$ ”. Todo el perímetro del piso flotante está aislado de los muros y columnas del local a través de bandas de neoprene poroso. Un tratamiento similar adicional fue utilizado en la parte delantera bajo el escenario (mandil) donde se disponen seis potentes parlantes sub-woofers.

Paredes

Como se mencionó anteriormente, varios ambientes de servicios sirvieron de barreras acústicas adicionales en ambos niveles del local, razón por la cual las condiciones de aislamiento sonoro requeridas por las paredes eran diferenciadas de acuerdo a la ubicación de los tabiques. Fueron propuestos cuatro diferentes tipos con espesores máximos de 0.15m y valores de aislamiento acústico (R) teóricos mayores a 50 dB (muros perimetrales: 60dB). Los cuatro tipos de tabiques compuestos están basados en paneles de yeso (*drywall*) de diferente espesor y masa, dispuestos con cámaras interiores de aire y lana de vidrio. Para el caso de los muros perimetrales, con la finalidad de incrementar la masa de los tabiques se dispuso, hacia el exterior, tableros aglomerados de fibra vegetal con cemento (fibrablock) que podrían recibir un revoque final de cemento de $e=3$ cm (Figura 9). En el caso de las amplias mamparas de vidrio se utilizó un doble vidrio laminado de 12mm (interior) y 14mm (exterior) con una cámara de aire intermedia de 160mm, proporcionando un aislamiento sonoro (R) aproximado de 49dB.

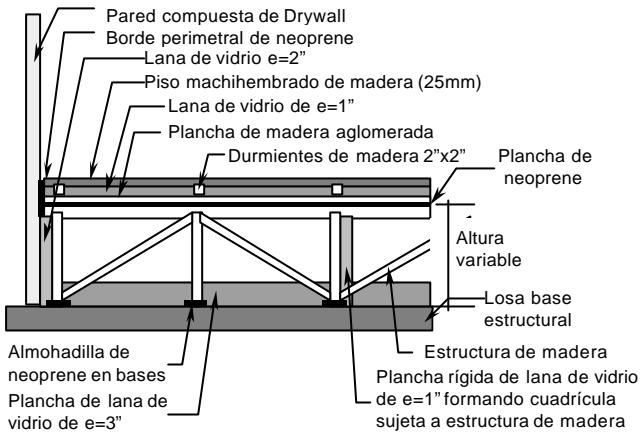


Fig. 8. Sección esquemática de piso flotante de madera en "Hard Rock Café - Lima"

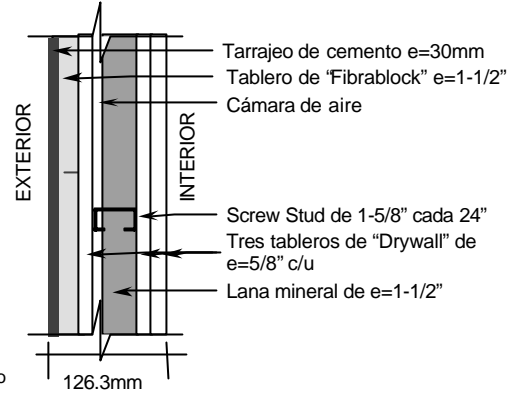


Fig. 9. Sección esquemática de tabique aislante en "Hard Rock Café - Lima"

Techo

En este caso, las limitaciones de carga mencionadas eran aún más estrictas. Se habilitaron dos propuestas de techo compuesto, consistentes con el proyecto de arquitectura. Un anillo perimetral estaba apoyado en una estructura metálica de poca altura (peralte: 0.70m) por lo que se tiene una delgada losa de concreto similar a la losa flotante antes mencionada, además de un cielorraso de planchas de *drywall* sobre la que se disponen una manta continua de lana de vidrio de $e=2"$. Para la zona central del local, sobre el escenario y zona de mesas, el proyecto arquitectónico disponía un cielorraso más elevado con forma de domo. En este caso, el espacio disponible era menor. En la parte superior, (nivel del parque) se dispone un pequeño espejo de agua (tirante: 5cm) apoyado sobre una geomembrana superficial y una plancha de fibra de vidrio de $e=2mm$. Una estructura metálica tubular soportaba estas delgadas capas y daban la curvatura del domo interior, además interiormente soportaban recipientes de madera aglomerada (MDF-trupán) de $e=12mm$ y en la cara inferior sujetaban dos planchas de *drywall* de $e=1/2"$ cada una sobre la que se disponía una manta de lana de vidrio de espesor variable entre 0.20m y 0.80m de acuerdo a la forma del domo.

Luego de habilitado el proyecto, se hicieron algunas mediciones acústicas con la finalidad de conocer la eficiencia de los elementos aislantes propuestos. Se generó con una fuente de ruido rosado un nivel de presión sonora de $L_{PA}:100dB$ en el interior del local. Se realizaron varias lecturas en posiciones representativas del nivel superior (parque), en los Patios de Comidas laterales, y en el nivel inferior (Salas de Cine 7 y 8) registrándose niveles menores a los del ruido de fondo ambiental para las dos primeras ubicaciones, y siendo casi imperceptible en el último caso (NC-25).