

Sistemas modulares verticales: Evaluación de la absorción acústica en laboratorio

Ana Rizzo La Malfa¹ ; Ariel Velis² ; Carlos Posse³ ; Alejandro Armas² ; Sebastián Miguel³ 
 Analía Figueira³ ; Jhoanna Gabin Portmann³ ; Ricardo Cortes⁴ ; Martín Favre⁴ ; Pablo Mini⁴ 
 Jorge Bretti⁴ 

¹ Doctoranda Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Investigación de Políticas del Ambiente Construido, La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo de contacto: rizzo.lamalfa@gmail.com Tel +54-221-484 26 86 / 471 27 21

² Laboratorio Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC. Cno. Centenario y 506, J. M. Gonnet, Provincia de Buenos Aires, Argentina

³ Laboratorio Bio-Ambiental de Diseño – Facultad de Planeamiento Socio-Ambiental – Arquitectura, Universidad de Flores, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

⁴ Taller 5 Cátedra A, Departamento de Diseño Industrial, Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Prov. Buenos Aires, Argentina

Resumen: En el ámbito de la arquitectura sustentable, han surgido recientemente un conjunto de propuestas tecnológicas entre las que se encuentra los sistemas de naturación urbana también conocidas como “*Urban Greening*”. Estas técnicas se caracterizan por incorporar el elemento vegetal a la envolvente arquitectónica y, de esta manera, acercar la naturaleza al ambiente construido. Las tecnologías de naturación urbana aplicadas sobre fachadas se denominan jardines verticales y se destacan las del tipo “modular” (Urban Greenery Systems). Dichos sistemas son deseables en la aplicación sobre muros por su practicidad, otorgando beneficios para el ambiente natural ya construido y, eventualmente, colaboran en la reducción del ruido urbano. Las bondades de estas envolventes dependen de múltiples variables: su composición (plantas y estructura de fijación-sostén), el sistema de riego empleado y el contexto ambiental circundante, entre otros.

El presente trabajo expone el estudio de las propiedades de absorción acústica en laboratorio de un sistema de jardín vertical modular, con especial atención a la eventual incidencia del grado de la cobertura vegetal y de la humedad en la absorción acústica. La complejidad de la problemática requirió de múltiples conocimientos, conformándose para el presente estudio un grupo de trabajo interdisciplinario.

Palabras clave: jardines verticales, absorción acústica, ecosistema natural

Modular vertical garden system: laboratory evaluation of sound absorption

Abstract: In the field of sustainable architecture, a set of technological proposals has recently emerged, among which are the urban nature systems also known as “*Urban Greening*”. These techniques are characterized by

¹ Ana Rizzo La Malfa  <https://orcid.org/0000-0003-3500-0644>

² Ariel Velis  <https://orcid.org/0000-0002-0281-3780>

³ Carlos Posse  <https://orcid.org/0000-0001-8660-6502>

⁴ Alejandro Armas  <https://orcid.org/0000-0002-3450-2274>

⁵ Sebastián Miguel  <https://orcid.org/0000-0003-1902-9118>

⁶ Analía Figueira  <https://orcid.org/0000-0001-5205-8085>

⁷ Jhoanna Gabin Portmann  <https://orcid.org/0000-0001-8945-6407>

⁸ Ricardo Cortes  <https://orcid.org/0000-0003-0266-6554>

⁹ Martín Favre  <https://orcid.org/0000-0002-8393-9608>

¹⁰ Pablo Mini  <https://orcid.org/0000-0002-6948-4408>

¹¹ Jorge Bretti  <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

incorporating the vegetal element into the architectural envelope, and in this way, bringing nature closer to the built environment. The technologies of urban nature applied on facades, are called vertical gardens specially the "modular" type (Urban Greenery Systems). These systems are desirable for their practicality in the application on walls, providing benefits for the natural environment already built and eventually contribute to the reduction of urban noise. The benefits of these envelopes depend on multiple variables: their composition (plants and structure of fixation-support), the irrigation system and the surrounding environmental context, among others.

The present work exposes the study of the properties of acoustic absorption in the laboratory of a system of modular vertical garden, with special attention to the eventual incidence of the degree of the vegetal cover and humidity in the acoustic absorption. The complexity of the problem required multiple knowledge, conforming to the present study an interdisciplinary working group.

Keywords: vertical gardens, acoustic absorption, natural ecosystem

Sistemas modulares de jardins verticais: Avaliação da absorção acústica no laboratório

Resumo: No contexto da arquitetura sustentável, surgiu recentemente um conjunto de propostas tecnológicas, entre as quais os sistemas de natureza urbana, também conhecidos como "Urban Greening". Essas técnicas são caracterizadas pela incorporação do elemento vegetal no envelope arquitetônico e, assim, aproximando a natureza do ambiente construído. As tecnologias de natureza urbana aplicadas em fachadas, chamadas jardins verticais, e as do tipo "modular" (Urban Greenery Systems) destacam-se. Estes sistemas são desejáveis pela sua praticidade na aplicação em paredes, proporcionando benefícios para o ambiente natural já construído e, eventualmente, contribuem para a redução do ruído urbano. Os benefícios desses envelopes dependem de múltiplas variáveis: sua composição (plantas e estrutura de fixação-suporte), o sistema de irrigação utilizado e o contexto ambiental circundante, entre outros.

O presente trabalho expõe o estudo das propriedades de absorção acústica em laboratório de um sistema de jardim vertical modular, com especial atenção para a eventual incidência do grau de cobertura vegetal e da umidade na absorção acústica das mesmas. A complexidade do problema exigiu múltiplos conhecimentos, conforme o presente estudo, um grupo de trabalho interdisciplinar.

Palavras-chave: jardins verticais, absorção acústica, ecossistema natural

PACS: 43.55. – n

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de los principios de sustentabilidad ambiental, la naturación urbana surgió como una alternativa interesante que busca vincular la naturaleza y la arquitectura, proporcionando servicios ecosistémicos en las ciudades. Las envolventes vegetales son aplicables a muros y techos existiendo interesantes propuestas con diversos grados de desarrollo y tecnologización, entre las cuales se encuentran los jardines verticales modulares. Estos sistemas se presentan en diversos diseños dependiendo del objetivo estético y funcional que se pretende. Así, existen jardines con

cobertura parcial o total, concentrada o dispersa, intensiva o extensiva, y cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas en cuanto a las prestaciones que ofrecen. Los sistemas modulares básicamente se componen de un ecosistema natural (vegetación + sustrato), un ecosistema construido (paneles + contenedores + estructura de soporte + anclaje a la fachada), y un sistema de alimentación y mantenimiento del sistema vivo (riego + nutrientes + podas). Los sistemas mencionados se encuentran expuestos al ambiente exterior y a los factores climáticos, condiciones que inciden para su funcionamiento y mantenimiento. Uno de los factores climáticos que afecta su funcionamiento es la variabilidad del régimen pluvial y en este trabajo se

evaluará el efecto de la humedad en las cualidades acústicas del sistema bajo análisis.

2. ANTECEDENTES CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO

El presente estudio tomó en consideración algunos trabajos que profundizaron el conocimiento de los jardines verticales desde el punto de vista acústico. Yang et al (2013)⁰, desarrolló un conjunto de mediciones en cámara reverberante para conocer el aporte del sustrato y la vegetación a partir del estudio de variables tales como la profundidad del suelo, el porcentaje de cobertura y la incidencia de la humedad. Dichas investigaciones demostraron que la presencia de humedad resulta un factor negativo en relación con la absorción acústica.

Respecto al sustrato, cabe señalar que aquellos más permeables y de baja densidad poseen mayor coeficiente de absorción acústica que los menos permeables y de alta densidad, de acuerdo con los trabajos realizados por Horonchenkov et al (2013)⁰.

En cuanto a la cobertura vegetal, tanto Yang et al (2010)⁰ como Wong et al. (2013)⁰ pudieron corroborar la relación directa de la densidad de cobertura vegetal y la absorción acústica.

A su vez, las plantas tienen particularidades foliares que inciden en el coeficiente de absorción acústica (Van Renterghem et al, 2012)⁰, ya que el mismo es controlado por el área foliar, la densidad de la misma y la orientación de la hoja (ángulo de incidencia de la onda sonora) De manera que, cuanto mayor es el área foliar, mayores son los coeficientes de absorción. (Horonchenkov et al, 2013)⁰.

Mediante mediciones in situ se ha logrado caracterizar el comportamiento de la vegetación y el sustrato frente al ruido urbano. Así, Wong et al (2016)⁰, desarrolló una investigación sobre ocho tipologías de fachadas vegetales en una vía de tránsito y pudo determinar que el nivel de ruido disminuía.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE LA MUESTRA

3.1 Ecosistema construido

Para el tratamiento de envolventes edilicias verticales existen variados sistemas y alternativas de cobertura parcial o total. Por lo general, es necesario desarrollar

algún sistema que garantice el aislamiento hidráulico y la proliferación de raíces que atenten contra las aislaciones de los muros que se desean intervenir.

Para tal fin, se ha optado por desarrollar un sistema modular de paneles de jardines verticales que está compuesto por una serie de componentes, en donde cada uno cumple una función determinada, que entre todos constituyen un sistema eficiente que permite el desarrollo de un jardín vertical de cobertura total y que garantiza el aislamiento hidrófugo del muro por ser independiente.

El jardín se configura por módulos individuales de 1,20 m de alto x 0,80 m de ancho cada uno, colocados de manera adyacente unos a otros, que conforman el jardín vertical completo. Estos módulos fueron desarrollados y aportados por el Laboratorio Bio-Ambiental de la Universidad de Flores⁰. El diseño de los paneles se compone de tres capas superpuestas tal como se indica en la Figura 1.

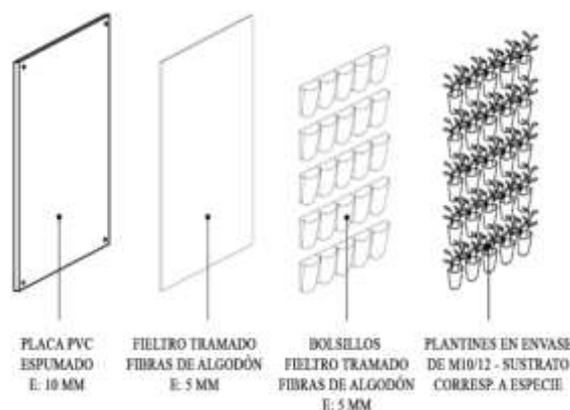


Figura 1. Esquema compositivo del módulo. Los materiales utilizados en las capas son los siguientes:

Capa 1: base rígida de placas aislantes de PVC espumado de 10 mm de espesor y dimensiones 0.80m x 1,20 m. Los detalles técnicos se indican en la Tabla I.

Tabla I Propiedades de la placa rígida de PVC espumado.

| Propiedad | Característica | Valor |
|--------------------------|----------------|---------------------------|
| Esesor | | 10 mm |
| Estructura | | Celular |
| Toxicidad | | No posee |
| Reciclabilidad | | Si |
| Inflamabilidad | | Escasa |
| Densidad aparente | | 0.65 gr/cm ³ |
| Fuerza de tracción | | 12 - 20 Mpa |
| Resistencia a la flexión | | 12 - 18 Mpa |
| Elasticidad a la flexión | | 800 - 900 Mpa |
| Fuerza de impacto | | 8 - 16 KJ /m ² |

Capa 2: compuesta por un fieltro tramado de fibras de algodón que recubre la cara exterior. Las propiedades de dicho estrato se indican a continuación (Tabla II)

Tabla II Propiedades del fieltro.

| Propiedad | Característica | Valor |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Espesor | variable | ≈10 mm |
| Estructura | Fibras de algodón + sintéticas | |
| Aglomerante Masa | Resinas termoplásticas | 460 a 640 gr/m ² |
| Reciclabilidad | Si | |
| Inflamabilidad | Escasa | |

Capa 3: recubre la capa 2 con el mismo material y está compuesta por 25 bolsillos (5 filas y 5 columnas) que serán el albergue de 25 plantines y sus respectivos sustratos. El detalle de la composición se muestra en la Figura 2.

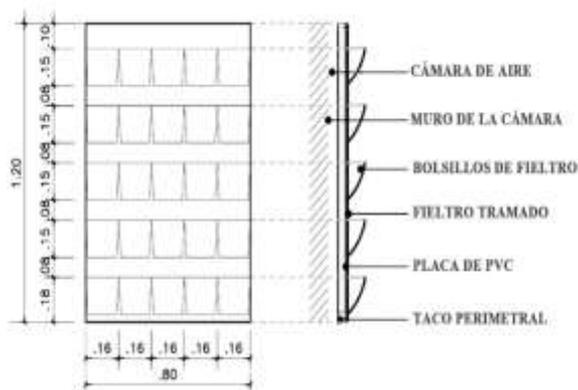


Figura 2. Esquema del módulo (frente y perfil).

3.2 Ecosistema natural

La selección inicial del ecosistema natural se basó en el estudio de cuatro especies de amplia difusión en nuestro país a fin de garantizar la buena adaptación y supervivencia de las plantas. Las especies elegidas fueron: Incienso (*Plectranthus coleoides*), *Plectranthus neochilus*, *Tradescantia purpurea* y *Salvia procurrens*. En la Figura 3 se pueden ver dichas especies.

La vegetación seleccionada se colocó en los bolsillos de los paneles utilizando un sustrato ligeramente alcalino. A continuación, en la Tabla III, se ilustran las especificidades del sustrato.



Figura 3. Detalle de la vegetación utilizada

Tabla III Características del sustrato.

| Composición Físicoquímica | Valores | Unidad |
|--------------------------------|-----------|--------------------|
| PH | 7,2 - 7,5 | - |
| C.E. (conductividad eléctrica) | 1,2 | ms/cm |
| M.O. (materia orgánica) | 45 | % |
| Cenizas | 55 | % |
| Densidad seca | 470 | gr/cm ³ |
| Porosidad total | 77 | % |

En el momento inicial del armado de los módulos del jardín vertical que configuraron la muestra, se decidió realizar una distribución homogénea de los plantines de cada especie seleccionada (25% c/u) con el sustrato correspondiente. Dichos plantines, contenidos en envases plásticos soplados N° 12 con capacidad de 1 litro de sustrato, se colocaron en cada bolsillo tal como se expone en la Figura 4.



Figura 4. Ubicación de las especies en el módulo

Cabe destacar que, durante el proceso de adaptación de la vegetación, algunos plantines no lograron desarrollarse y fueron reemplazados por otros de nuevas especies, como la Tradescantia Zebrina (*Zebrina*) y Manto de Virgen 1%.

En el momento de la medición de absorción acústica se evidenció la predominancia de las especies *Plectranthus* (*Plectranthus neochilus*) con un 40% del total, e Incienso (*Plectranthus coleoides*) con un 33%, quedando la Tradescantia (*Tradescantia purpurea*) con el porcentaje inicial del 25%. La Salvia (*Salvia procurrens*) desapareció por completo y quedaron unas pequeñas proporciones de Tradescantia Zebrina (1%) y Manto de Virgen (1%). Con esta composición de especies se realizaron las mediciones en la cámara reverberante del laboratorio.

3.2.1 Evolución del ecosistema natural

Previo a la medición de absorción y con el objeto de alcanzar un desarrollo adecuado de la vegetación de la muestra, se dispuso la colocación de los 12 módulos en paredes exteriores del Laboratorio de Acústica para su cuidado. De esta manera, se aseguró el desarrollo y adaptación de las plantas en un ambiente abierto y bajo condiciones ambientales y climáticas similares a las que tendrían en la realidad. La vegetación se desarrolló en las condiciones indicadas durante un periodo de 11 meses. La Figura 5 ilustra dicha etapa.

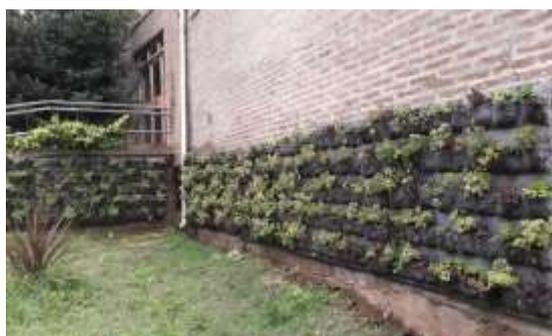


Figura 5. Desarrollo del jardín vertical en el exterior.

3.2.2 Riego, mantenimiento, fertilización y control de plagas

Por motivos prácticos, el mantenimiento del jardín en cuanto a la vegetación (reposición de plantas deterioradas), la fertilización y el control de plagas se realizó in situ a partir de la observación directa de la

muestra. El riego se realizó de manera manual por cuestiones prácticas.

Las condiciones de humedad del sustrato de la vegetación dependen no solo de los requerimientos de la vegetación sino también del periodo del año, de las condiciones climáticas, de la orientación y de la ubicación del jardín vertical. Durante el periodo estivo el sistema requirió un mayor cuidado. Las altas temperaturas y la radiación en la pared producían una rápida evaporación del agua, situación que obligo a colocar una cobertura provisoria tensada de monofilamento de polietileno de alta densidad con protección UV tipo “malla media-sombra” para proteger las plantas (Figura 6.)



Figura 6. Protección del jardín modular durante el período estivo.

Las fertilizaciones y las podas necesarias para el desarrollo se efectuaron en función del crecimiento y evolución particular de cada planta.

4. MEDICIONES ABSORCIÓN ACÚSTICA EN LABORATORIO

4.1. Construcción de la muestra

La muestra ensayada se conformó por un conjunto de 12 paneles modulares verticales vegetados simulando un jardín vertical aplicado a una fachada expuesta al ruido urbano. El sistema modular fue ensayado para indagar las características de absorción acústica bajo condiciones controladas de laboratorio según lo especificado por la normativa ISO 354/1985 0.

Entre los requerimientos de la norma se exige una muestra cuya superficie debe estar entre los 10 m² y los 12 m². Para alcanzar tal objetivo se necesitaron entonces 12 paneles, los cuales cubrieron 11.52 m². Los paneles se colocaron de forma vertical y de

manera contigua distribuyéndose en 3 filas (3,60 m) y 4 columnas (3,20 m) tal como se indica en la Figura 7.

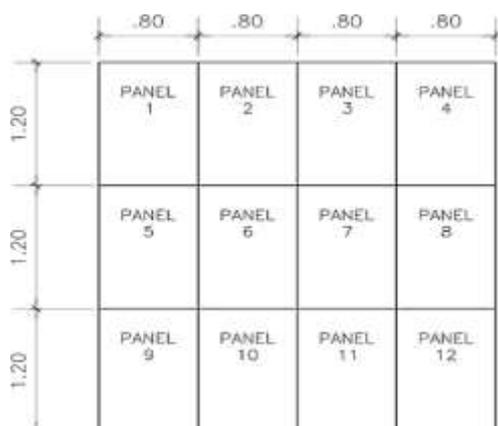


Figura 7. Configuración de la muestra.

La colocación de la muestra en una de las paredes internas de la cámara reverberante, que haría las veces de fachada, requirió la construcción de una grilla con listones de madera (0.050m x 0.076m). Dicha estructura permitió que se pudieran fijar cada uno de los paneles mediante tornillos auto-perforantes. La grilla conformó cavidades de aire de 0.050m de espesor entre la superficie interior de los paneles y la pared. Esta cavidad de aire evita la producción de humedad cuando se aplica el sistema de jardín vertical a una fachada real. El detalle de la misma puede verse en la Figura 8.



Figura 8. Detalle de la cavidad de aire.

Teniendo en consideración que los jardines verticales se instalan en paredes exteriores, se plantearon 4 condiciones distintas de la muestra para las mediciones de absorción. Dichas condiciones están

asociadas a situaciones climáticas, desperfectos del sistema de riego, variaciones del crecimiento de las plantas e incluso desaparición parcial o total de la vegetación por eventuales eventos que puedan producirse. La primera condición se corresponde con los paneles vacíos (caso extremo de desaparición total de la vegetación) y las otras 3 a los paneles cubiertos de plantas, pero con 3 grados diferentes de humedad (llamadas cualitativamente baja, media y alta).

4.2. Disposición de muestra en las cámaras

La muestra se dispuso en una de las paredes de la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC, de forma vertical, con la estructura de soporte buscando recrear condiciones similares a las de un jardín vertical montado en una fachada. La Figura 9 expone como quedaron colocadas las muestras para los paneles vacíos y con plantas.



Figura 9. Colocación de la muestra en la cámara reverberante.

4.3. Evaluación de paneles vacíos

En la primera etapa del estudio, se determinó la absorción acústica del sistema de jardín vertical con ausencia de la vegetación, con lo cual se esperaba ver el comportamiento acústico en uno de los casos extremos y a la vez ponderar la absorción acústica intrínseca de los paneles.

4.4. Evaluación del jardín completo (paneles con sustrato y plantas) con 3 condiciones de humedad

Para que la muestra tenga una cobertura vegetal adecuada, el ecosistema natural se conformó con 300 plantas. El sistema presentaba una cobertura vegetal de aproximadamente el 70% de la muestra.

En cuanto a las 3 condiciones de humedad del jardín, se definieron como “Condición A” (humedad mínima para subsistencia de la vegetación), “Condición B” (humedad media o equilibrio del sistema) y “Condición C” (humedad a punto de saturación). En base a las condiciones indicadas se confeccionó la Tabla IIV que se presenta a continuación:

Tabla IIV Condición de humedad de cada panel del sistema en relación al peso

| Condición | Humedad ponderada | Peso de cada panel (kg) |
|-----------|--|-------------------------|
| A | Hidratación mínima del sistema (≅ mínimo) | 21,3 |
| B | Hidratación media del sistema (≅ equilibrio) | 22,8 |
| C | Hidratación máxima o saturación del sistema (≅ inundación) | 25,2 |

De acuerdo al peso obtenido de los paneles secos y saturados, se puede deducir que la máxima cantidad de agua que puede retener este jardín vertical es de aproximadamente 4 litros por metro cuadrado.

4.5. Características de la cámara reverberante e instrumental utilizado

Los ensayos de la muestra para obtener el coeficiente de absorción α se realizaron en la sala reverberante del Laboratorio cuya superficie interior es de 208 m² y cuyo volumen es de 189 m³, cumpliendo los requisitos de la Norma ISO-354/19850. El instrumental empleado en las mediciones se detalla a continuación:

- Medidor de nivel sonoro y analizador de espectros en tiempo real marca Brüel & Kjaer, Type 2250 con pre-amplificador de micrófono marca Brüel & Kjaer, Type ZC-0032 y micrófono de 1/2” marca Brüel & Kjaer Type 4189.
- Software de medición de tiempo de reverberación, marca Brüel & Kjaer, Type BZ-7227.
- Amplificador de audio frecuencias, marca Pyramid, modelo PA1000X.
- Fuentes sonoras de cámara reverberante (2 baffles cúbicos de 3 parlantes cada uno).

4.6. Metodología de investigación

El cálculo de absorción sonora requirió la medición de los tiempos de reverberación según procedimiento indicado en la Norma ISO 35/19850. Para la medición se ubicaron las fuentes sonoras en 2 posiciones diferentes y los micrófonos se dispusieron en 6 ubicaciones distintas. Respetando la norma considerada, se realizaron 3 registros para cada combinación fuente-micrófono, siendo cada uno de los tiempos de reverberación aquellos resultantes de las 36 caídas. Se calcularon los coeficientes de absorción sonora α_s en cámara reverberante (adimensional) para las bandas de tercios de octava comprendidas entre 100 y 5000 Hz, aplicando el método indicado en la Norma ISO-354/1985 0.

Además, se obtuvo el valor del Noise Reduction Coefficient (NRC), y el valor del Sound Absorption Average (SAA), de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C423-02a 0:

- Noise Reduction Coefficient (NRC): obtenido como el promedio de los coeficientes de absorción sonora de las bandas de tercios de octavas centradas en 250, 500, 1000 y 2000 Hz, redondeado al múltiplo más próximo de 0,05.
- Sound Absorption Average (SAA): obtenido como el promedio de los coeficientes de absorción sonora de las bandas de tercios de octava comprendidas entre 200 y 2500 Hz, redondeado al múltiplo más próximo de 0,01.

4.7. Desarrollo de la medición

Las mediciones, debido a las necesidades de modificar las condiciones de humedad del jardín vertical, se desarrollaron en dos días consecutivos. Durante el primer día se midieron los tiempos de

reverberación de la cámara vacía mientras se desmontaban los paneles ubicados en una de las paredes exteriores del laboratorio con la vegetación hidratada en la condición B. La instalación de los paneles en uno de los muros de la cámara reverberante puede observarse en la Figura 10.



Figura 10. Montaje de los paneles para las mediciones.

Una vez montados los paneles y efectuada la medición de absorción, se dejaron colocados allí hasta el día siguiente con la finalidad de obtener la condición de humedad A (Figura 11) y realizar la medición para dicha condición.



Figura 11. Condición "A" de la muestra.

Con posterioridad a la medición de la condición "A", se regó abundantemente toda la muestra hasta saturar los poros del sustrato y empapar todo el panel a fin de medir la última situación posible (condición "C"). Por último, se retiró la totalidad de la muestra y se volvieron a medir los tiempos de reverberación de la cámara reverberante vacía, con el objeto de aplicarse los valores relevados a los cálculos de absorción acústica del segundo día.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en consideración los valores adquiridos durante las mediciones en las cuatro condiciones de los paneles (vacíos, humedad mínima, media y máxima), se calcularon los coeficientes de absorción α_s (adimensional), discriminados por bandas de tercios de octavas. Los valores se presentan a continuación, incluyéndose los números únicos calculados NRC y SAA según lo especificado en la norma ASTM C 423-02a. Los mismos se indican a continuación en la Tabla V.

Tabla V Coeficientes de absorción α_s , NRC y SAA.

| Frecuencia [Hz] | α_s Paneles vacíos | α_s condición de humedad de los sustratos en los paneles | | |
|-----------------|------------------------------|--|-----------|----------------|
| | | A (baja) | B (media) | C (saturación) |
| | | | | |
| 100 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,16 |
| 125 | 0,35 | 0,29 | 0,28 | 0,29 |
| 160 | 0,43 | 0,32 | 0,34 | 0,41 |
| 200 | 0,48 | 0,49 | 0,53 | 0,46 |
| 250 | 0,48 | 0,53 | 0,51 | 0,47 |
| 315 | 0,53 | 0,49 | 0,4 | 0,48 |
| 400 | 0,55 | 0,54 | 0,53 | 0,47 |
| 500 | 0,59 | 0,53 | 0,54 | 0,49 |
| 630 | 0,63 | 0,57 | 0,58 | 0,57 |
| 800 | 0,70 | 0,67 | 0,67 | 0,66 |
| 1000 | 0,74 | 0,71 | 0,71 | 0,73 |
| 1250 | 0,79 | 0,76 | 0,82 | 0,78 |
| 1600 | 0,80 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| 2000 | 0,84 | 0,87 | 0,87 | 0,86 |
| 2500 | 0,87 | 0,91 | 0,92 | 0,92 |
| 3150 | 0,92 | 0,97 | 0,95 | 0,93 |
| 4000 | 0,97 | 0,97 | 0,95 | 0,96 |
| 5000 | 1,02 | 0,99 | 0,95 | 0,97 |
| NRC | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| SAA | 0,67 | 0,66 | 0,67 | 0,64 |

Los coeficientes de absorción α_s obtenidos en la cámara reverberante para las cuatro condiciones, ("vacíos", "A", "B" y "C") se ilustran a continuación en la Figura 12.

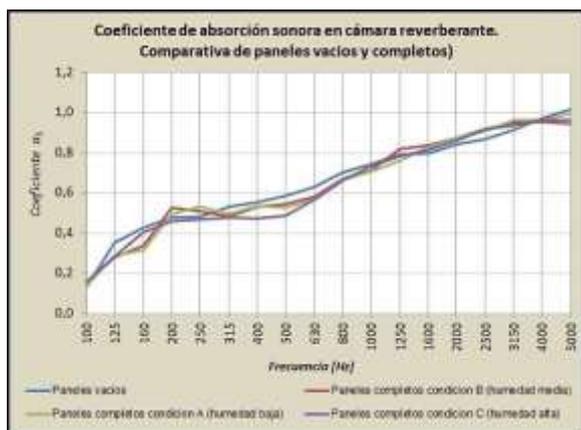


Figura 12. Comportamiento de la muestra en las cuatro condiciones.

Una comparación de las prestaciones de absorción acústica media del sistema de jardines verticales modulares en laboratorio (promedio de las 3 condiciones de humedad), respecto a otros materiales constructivos, se ilustra a continuación (Figura 13).



Figura 13. Comparación de los coeficientes de absorción de la muestra estudiada frente a otros elementos constructivos

6. CONCLUSIONES

La primera conclusión se desprende de la Figura 12: el coeficiente de absorción acústica es prácticamente independiente tanto de la existencia o no de plantas y sustrato, como así también del grado de humedad que posea el sistema. Esto puede explicarse en base a que evidentemente la absorción que otorgan las plantas (en las condiciones de crecimiento medidas) y el sustrato es despreciable frente a la absorción acústica de los paneles por sí solos. Como ventaja de esto podría decirse que este tipo de jardín vertical mantendría sus características de absorción acústica prácticamente constantes a pesar de los cambios que puede sufrir en cuanto a humedad (riego, lluvia, etc.)

y desarrollo de las plantas (período estacional, clima, etc.).

Otra conclusión que puede obtenerse es que la absorción acústica respecto a otros materiales de construcción (Figura 13) no solo es aceptable sino que además ofrece un gran potencial para investigaciones futuras. Esto puede verse simplemente comparando en dicha figura la absorción del sistema frente a otros materiales constructivos considerados como de “alta absorción acústica”, como por ejemplo las espumas de poliuretano y los paneles de lana de vidrio. En este último caso, resulta evidente que la curva de absorción acústica presenta un comportamiento similar (espesor 50 mm y densidad 35 kg/m³), fundamentalmente en las bajas frecuencias entre las bandas de 125-250 Hz y en las altas frecuencias a partir de los 2000 Hz.

Considerando que el comportamiento de un muro de ladrillos posee una absorción muy baja (ver Figura 13), la aplicación de un sistema similar al aquí estudiado podría resultar una mejora significativa, fundamentalmente para el caso de las fachadas.

Las conclusiones del trabajo expuesto tienen muchos puntos en común respecto a los resultados obtenidos en otros trabajos que estudiaron la absorción acústica de diversos sistemas modulares de jardines verticales en similares condiciones de medición tales como los de Wong et al (2013), Thomazelli et al (2016) y Azkorra et al (2015).

En la actualidad se están desarrollando otras tipologías de jardines verticales conjuntamente con el Departamento de Diseño Industrial de la Facultad de Bellas Artes (FBA-UNLP) los que serán ensayados a futuro con el fin de producir una mayor cantidad de datos sobre este tipo de tecnologías de naturación urbana y realizar un aporte a su comportamiento acústico.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la constante guía y disponibilidad del Director de Tesis, Prof. Dr. Ing. Gustavo J. Basso (Facultad de Bellas Artes-Universidad de La Plata); al apoyo del Codirector Dr. Prof. Dr. Ing. Patrizio Fausti (Dipartimento di Ingegneria-Universita' di Ferrara-Italia); a la invalorable ayuda del Director del Instituto de Investigación y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC-FAU-UNLP); y a todo el

personal del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- Yang H. S., Kang J., Cheal K. (2013). “Random-Incidence Absorption and Scattering Coefficients of Vegetation”. *ACTA Acustica United With Acustica*, 2013; 99(3): 379 – 388
- Kirill V. Horoshenkov, Amir Khan and Hadj Benkreira (2013). “Acoustic properties of low growing plants”, *Journal of the Acoustical Society of America*. 133 (2013) pp 2554-2565
- Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Tan P.Y., Chiang K., Wong N. C. (2010). “Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Build. Environ.* 45 (2010), pp.411-420
- Van Renterghem T., Botteldooren D., Verheyen K. (2012). “Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth”. *Journal Sound and Vibration* 331, pp. 2404-2425
- Miguel S., Figueira A., Faggi A., Gabin Portmann J. (2017) “*Cubiertas verdes y jardines verticales. Comportamiento térmico y acústico de sistemas modulares?*”. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES) Vol. 5, pp. 09.13-09.24, 2017. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5 1234
- ISO 354/1985 *Acoustics Measurement of sound absorption in a reverberation room.*
- ASTM C423-02a, *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.
- Thomazelli, R.; F Caetano y S. Bertoli. (2016) “Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation” en *Actas ICA'16*, 2016, volumen 28, 015017.
- Azkorra, Z.; G. Pérez, J. Coma, L. Z. Cabeza, S. Bures, J. E. Álvaro, A. Erkoreka y M. Urrestazaru (2015). “Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings”, *Applied Acoustics.*, vol. 89, pg. 46–56.