
PUBLICACIÓN SEMESTRAL

**FACULTAD
DE INGENIERÍA
UDELAR**

**EN COLABORACIÓN CON
LA ASOCIACIÓN
URUGUAYA DE ACÚSTICA**



ECOS

ISSN 2697-2913

**AÑO 4, VOL. 4, Nº 2
JULIO - DICIEMBRE 2023**



REVISTA DE ACÚSTICA
ISSN 2697-2913

PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA – Udelar
en colaboración con la ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA

Consejo Editor	Tabla de contenidos
Alice Elizabeth González Universidad de la República, Uruguay - Editora en jefe	
Ana Abreu Universidad de la República, Uruguay	
Julieta António Universidade de Coimbra, Portugal	
Gustavo Basso Universidad Nacional de La Plata, Argentina	
Héctor Campello Vicente Universidad Miguel Hernández, España	
Fernando Elizondo-Garza Universidad Autónoma de Nuevo León, México	
Juan Cruz Giménez de Paz Investigador independiente, Argentina	
Ricardo Hernández Molina Universidad de Cádiz, España	
Federico S. Miyara Universidad Nacional de Rosario, Argentina	
Ismael Núñez Pereira Universidad de la República, Uruguay	
Dinara Xavier da Paixão Universidade Federal de Santa Maria, Brasil	
Jorge Patricio Fradique Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Portugal	
Diego Pablo Ruiz Padillo Universidad de Granada, España	
Nilda Vecchiatti Universidad de Buenos Aires, Argentina	
Secretaría General: Carolina Ramírez Universidad de la República, Uruguay	
	Contribuciones invitadas
	Homenaje a ALBERTO BEHAR. <i>Juan Cruz Giménez de Paz</i> ----- 2
	Mi relación con Alberto Behar. <i>Oscar Bonello</i> ----- 6
	Artículos académicos
	El «Congreso contra los ruidos molestos» de 1932 en Buenos Aires y su «Cartilla del silencio». <i>Walter A. Montano Rodríguez</i> ----- 8
	Monitoreo de integridad estructural utilizando amortiguamiento por histéresis. <i>José de Jesús Villalobos Luna, Pedro López Cruz</i> ----- 16
	Artículos de Congresos: Semana del Sonido organizada por INPAVAC, Lima, Perú, 2023
	Ciencia ciudadana para la gestión de ruido en la ciudad: mapeo de molestia. <i>Dulce Rosario Ponce Patrón, Verónica Arroyo Pedroza, Laura Angélica Lancón Rivera, Silvia Gabriela García Martínez, Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón</i> . ----- 24
	Textiles y PET reciclados con cualidades absorbentes del sonido para el mejoramiento de diversos parámetros acústicos en un aula. <i>Jesús Martínez Rangel, Laura A. Lancón Rivera, Ernesto R. Vázquez Cerón</i> ----- 37

Homenaje a ALBERTO BEHAR

Tribute to ALBERTO BEHAR

Homenagem a ALBERTO BEHAR

Juan Cruz Giménez de Paz

Investigador independiente

Colaborador invitado

Correo de contacto: gimenezdepaz@gmail.com



Foto 1. Alberto Behar

Escribir acerca de Alberto Behar es un privilegio. Fue un acústico destacado, una gran persona y un personaje. En lo que sigue, trato de mostrar un Behar humano dentro del capítulo en Argentina, más allá de sus méritos profesionales, ya que tuve la fortuna de trabajar a su lado.

Alberto Behar nació en Bulgaria en el año 1931 y tuvo que soportar los finales de la II Guerra Mundial de una manera muy cruel: ayudaba a su padre a apilar cadáveres para que un camión los llevara a su destino final. No era uno de sus temas preferidos como es de imaginar, pero quedó marcado en su carácter. Le resultaba difícil mantener una discusión áspera y cuando se daba, en cierto momento se desconectaba del problema y seguía con algo más creativo. Siendo joven, se radicó en Argentina donde estudió y se transformó en otro argentino más. Estudió y se recibió de ingeniero electrónico cursando en Ingeniería de la UBA y obviamente, no sería solo un ingeniero más. Como tal ingresó en 1965 al Departamento de Física del Instituto Nacional de

Tecnología Industrial (INTI) actuando en temas de desarrollos en electrónica.

Se mantuvo en esa institución hasta 1977 cuando se radicó en Canadá, donde continuó su carrera en diversos campos de la acústica, especializándose en control de ruido y vibraciones y conservación de la audición.

A lo largo de su carrera obtuvo el diploma en acústica del Imperial College (Londres). Fue Higienista Industrial certificado por el American Board of Industrial Hygiene. Ocupó puestos en la dirección de Occupational Hygiene Association of Ontario, que presidió (2007-2010). Miembro de la Professional Engineer Association of Ontario y miembro certificado del Institute of Noise Control Engineering. Fue dos veces becario de la British Council y de UNIDO (en el Callier Institute, Texas University, Dallas). Fue profesor en la Universidad de Toronto, además de investigador independiente. Participó y presentó trabajos en numerosos congresos nacionales e internacionales. Autor y colaborador de varios libros de la especialidad, y de más de 50 papers publicados en

revistas internacionales. Así de prolífica fue su actividad profesional.

De sus 11 años como acústico en Argentina, se mencionarán tres de los puntos más destacados: Su libro “El Ruido y su Control”, la creación de la División Acústica dentro del INTI y la creación de la Asociación de Acústicos Argentinos (AdAA).

EL RUIDO Y SU CONTROL

En 1967, uno de los centros de INTI organizó un curso sobre el tema “Medición y reducción de ruidos industriales” convocando a Behar para su dictado. El profesor debía redactar apuntes para los cursantes, cosa que hizo, advirtiendo la muy escasa disponibilidad de literatura en español.

Este apunte fue el núcleo del ya clásico “El Ruido y su Control” que en 1969 publica el Bouwcentrum Argentina (del sistema de centros de INTI) organizador del curso antedicho. Posteriormente, en 1977, la editorial Arbó lo edita como una versión ampliada hasta que finalmente en 1983 lo publica la editorial mexicana Trillas, con un volumen de 166 páginas. Lo hace en dos partes integradas: Primera parte “El ruido y sus efectos”; Segunda parte “El control del ruido”.

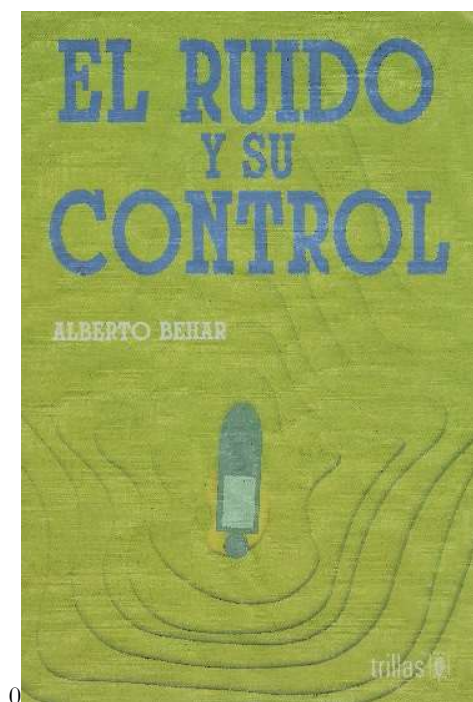


Foto 2. La edición de Trillas

Este libro tiene el mérito de ser uno de los primeros en castellano de autores argentinos y editados en el país, que se sumó al clásico “Acústica” de L.L. Beranek (“Acoustics”, 1954), traducción del Ing. A. Di Marco y editado por HASA (Argentina) en 1969.

Finalmente, el libro de Behar sirvió de base para el libro “El Ruido Industrial y su Control” que tiene a este firmante como su coautor, publicado en USA por CreateSpace (Charleston, USA, 2010), 346 páginas. Es una versión actualizada y ampliada con cada uno de los dos coautores como autores individuales (coordinados) de cada capítulo.

LA DIVISIÓN ACÚSTICA, INTI

En 1965 se desarrolló en Córdoba un acontecimiento que marcará el futuro profesional de Behar y de la acústica aplicada en el país. Durante la segunda quincena de marzo de ese año, se desarrollan en Córdoba las Primeras Jornadas Latinoamericanas de Acústica en el Pabellón de Física Aplicada de la Ciudad Universitaria. Fueron organizadas por el Instituto de Matemáticas, Astronomía y Física con la dirección del Prof. Ing. Guillermo L. Fuchs, uno de los grandes impulsores de la Acústica en Argentina.

Ya en 1962 se había creado en esa ciudad el Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL), bajo la dirección del Prof. Fuchs. Este Centro se crea bajo los auspicios de esa Universidad y el INTI, el que, junto con el Laboratorio de Acústica de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Buenos Aires (ahora inexistente) ubicado en el viejo edificio en la “Manzana de las Luces” han sido los primeros centros de investigación y desarrollo en estos temas en nuestro país.

Vale decir como anécdota que, en plena dictadura en Argentina, Behar utilizaba armas de fuego para generar ruidos impulsivos en la cámara reverberante, lo que le valió una advertencia del Decano, porque “¡si seguía a los tiros dentro de la Facultad terminaríamos todos presos!”. Obviamente recurrió a otras fuentes sonoras.

En las jornadas de 1965 participaron reconocidos investigadores del extranjero, mencionando a Bruckmayer (Austria), Grützmacher (Alemania), Kuttruff (Alemania) Stephens (Gran Bretaña) y varios de igual renombre. Entre los participantes argentinos, asistieron entre otros, los ingenieros Federico

Malvárez, Antonio Méndez, Edmundo Rochaix, Mario Serra, todos de reconocida trayectoria profesional.

Con todo ese apoyo internacional, se creó el Grupo de Acústicos Latino Americano (GALA) de destacada actividad en su ámbito de incumbencias.

Pero lo más importante para esta nota, es la participación de Behar por fuera de la orientación acústica, lo que se debió a que el Profesor Steinberg, director del Departamento de Física de INTI lo “empujara” a asistir al Seminario, posiblemente vinculando la electrónica con micrófonos, altavoces y otros diseños de la electrónica que conforman la electroacústica.

En el mismo año, se reúne por primera vez la Comisión de Acústica del IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) que será el lugar natural de discusión de los acústicos del país dedicados a la normalización principalmente metrológica, y por ende, la encargada de publicar sucesivas normas acústicas, revisar y actualizar las existentes en cada momento.

Al regreso del evento cordobés, Behar propicia la creación de la División Acústica en el Departamento de Física de ese Instituto, ejerciendo su jefatura durante 11 años, hasta 1977 cuando decide emigrar a Canadá.

La División Acústica tuvo para esa época cerca de una decena de colaboradores, entre profesionales y técnicos además de equipos B&K de alta calidad obtenidos por convenio con el PTB alemán. Contaba con una cámara silente, aproximación a una anecoica, muy empleada para medición de atenuación sonora de protectores auditivos personales, instrumental típico de acústica arquitectónica y de vibraciones y una batería de medidores de nivel sonoro. Compartió con la División Óptica, su cámara negra a modo de cámara reverberante no normalizada, para medición de absorción sonora de revestimientos y objetos. Hoy en día, cuenta con instalaciones normalizadas para medición de aislamiento y absorción sonoras.

CREACIÓN DE AdAA

Repitiendo experiencias anteriores, logra crear dentro del marco del GALA, la Asociación de Acústicos Argentinos, (AdAA) bajo los auspicios del INTI. Se constituyó el día 7 de mayo de 1976 con sede en la División Acústica del INTI y obtuvo su personería jurídica como sociedad civil sin fines de lucro el 19 de

abril de 1977. Actualmente es reconocida por la ICA como la representante de la Argentina ante esa organización (desde mayo de 1977).

Es miembro fundador de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) que reúne a las asociaciones nacionales de acústica de países latinoamericanos y de la península ibérica.

Esta Asociación es el resultado del desarrollo de las I Jornadas Argentinas de Acústicas que se llevan a cabo entre el 23 y el 27 de junio de 1975 en la ciudad de Buenos Aires, con asistencia de más de 150 personas. A partir de su formación, la AdAA organizó eventos nacionales de la mayor importancia en Acústica como las Jornadas Argentinas de Acústica, simposios sobre ruido en la ciudad, de acústica en la vivienda, de ruido y vibraciones en la industria, seminarios de electroacústica, sobre parlantes, etc.

SU FALLECIMIENTO

El fallecimiento de Alberto Behar, el 29 de noviembre de 2022, no solo produjo una pérdida irreparable, sino que fue una tragedia. Tuvimos un intercambio fluido por medio de emails en los últimos dos meses de su vida que se puede resumir en unos pocos párrafos. La decisión que tomó, lo hizo en conjunto con su esposa. Sus hijos, en una actitud muy generosa, los apoyaron en su decisión.

En el primero de sus emails, que representó un gran golpe para mí, decía en uno de sus párrafos: *“Por mi lado, la cosa va así: yo he tenido una vida muy satisfactoria en la que he hecho casi todo lo que quise hacer. Con el correr de los años hay cosas que no puedo hacer y estas se multiplican: no puedo tocar el violín, escucho poco aún con audífonos, camino con dificultades y tengo el equilibrio afectado, etc. Lo peor es que esto va para peor. Entonces en el balance de las cosas, la vida no es lo que era antes y a lo que estoy acostumbrado.”*

El párrafo más impactante es el que sigue que da una muestra de su carácter.

“Así las cosas, nos anotamos en el programa y, a menos de que pase algo en Ucrania o en China, el 29 de noviembre nos dan una picbicata que en menos de dos minutos nos envía a ... no sé dónde.”

Es increíble cómo es capaz de verle el lado positivo a la decisión para la que se acerca la fecha de su final.

“Respecto a mi estado de ánimo, es curioso: yo siento que me voy a ir de viaje y esto es todo. También, cuando me afecta algún achaque me pongo contento que ya se va a ir solo... Esto va incluso con problemas mundiales como ... (eliminado) ¿Egoísta? Tal vez, pero, qué lindo, no?”

El último párrafo que reproduzco lo muestra mentalmente activo y resultaría cómico si no fuera que está dentro de un marco doloroso, al menos para uno.

“...Y por fin...: Se me vino la idea de otro libro, esta vez eminentemente práctico: Acústica para el higienista industrial. Un poco tarde, no?”

Así, de esta manera se fue el acústico que mereció tanto respeto y de quien aprendimos a desarrollarnos en esta especialidad. Pero también se fue el hombre que mereció tanto o más respeto. Quien enseñó y quien brindó una generosa amistad a muchos que hoy lo recordamos con cariño y agradecimiento.



Foto 3. Una reunión familiar en Canadá (Alberto Behar de blanco)



Foto 3. Behar recibiendo una distinción de la UNTREF (a su derecha el Ing. Francisco Ruffa)

Mi relación con Alberto Behar

My relationship with Alberto Behar

Minha relação com Alberto Behar

Ing. Oscar Bonello

SOLYDINE

Colaborador invitado

Correo de contacto: oscar@solydinepro.com

Conocí a Alberto a inicios de la década de 1970. Ambos éramos ingenieros electrónicos egresados de la Universidad de Buenos Aires. Pero Alberto en ese entonces ya estaba trabajando en el campo de la Acústica y en particular en Control de Ruido, que sería siempre su especialidad.

Me acuerdo siempre de nuestro primer contacto (es una costumbre de la memoria acordarse siempre de la “primera vez” que viste a alguien que con el tiempo se torna importante en tu vida).

En ese entonces yo había fundado la empresa Solidyne y por cuestiones técnicas, debimos realizar mediciones de sistemas en el INTI en un laboratorio que él tenía a su cargo. Al finalizar las mediciones apareció por una puerta Alberto, sonriente como siempre (nunca jamás lo pude ver enojado). La sonrisa y el trato amable eran parte de su personalidad. Comenzó a mirar los instrumentos de medición y pidió cambiarlo por otros de última generación que el INTI disponía y se sentó él mismo a realizar mediciones. Cuando finalizó me dijo: *“Bonello lo invito 10 minutos a tomar un café así me explica cómo es posible que un amplificador de transistores tenga una distorsión tan reducida que mis instrumentos no pueden medirla”*. Y allí comenzamos a charlar sobre algo que nos apasionaba a ambos: el sonido y cómo era percibido por el oído humano. Los 10 minutos se hicieron dos horas y allí iniciamos una larga amistad. Desde el principio entendí que Alberto era una persona multifacética y se consideraba ciudadano del mundo. Había nacido en Europa y luego emigrado a la Argentina, como muchos, huyendo de guerras. Se interesaba por muchas cosas, por ejemplo, la música. Era un buen violinista y en sus últimos años formó parte de la orquesta sinfónica de Toronto cuando ya estaba radicado en Canadá. En ese país, del que se hizo ciudadano, se dedicó a la Acústica y en particular al control de ruidos ambientales. Fue profesor

universitario y hasta sus últimos días estuve siempre rodeado de alumnos a los que les daba temas de tesis y los guiaba en su carrera.

Cuando escribí mi libro sobre acústica y música, me ofreció generosamente su tiempo para revisarlo enteramente y me realizó numerosas sugerencias que lo enriquecieron.

Unos meses después de nuestro primer encuentro Alberto me dijo: *“sería bueno que saliéramos juntos al teatro o a cenar con nuestras esposas. Pero he notado que muchas veces las esposas no congenian entre ellas y eso arruina la velada. Te propongo que salgamos con ellas una hora a tomar un café a ver si se entienden”*. La propuesta me resultó muy extraña sin duda pues si bien esa situación suele darse en la vida nunca había encontrado a un hombre que se preocupara tanto por ese detalle. Pero Alberto siempre se preocupó por los detalles en cada cosa que hacía y esto siempre me encantó, porque es en los detalles pequeños donde se nota la calidad del investigador.

Así que unos días después nos reunimos a tomar un café y allí conocimos a “La Doctora” su esposa, que era médica infantil, y todos simpatizamos y comenzamos a salir juntos

Gracias a su inspiración se fundó unos años después AdAA (la Asociación de Acústicos Argentinos) que nucleaba a todos los que nos dedicábamos a esa disciplina.

En mayo de 1976 Alberto me invitó junto a otros colegas a ser socio fundador de la Asociación de Acústicos Argentinos. He visto con los años crecer a nuestra asociación, tener afiliaciones internacionales y organizar o patrocinar numerosos congresos.

Pero tuve también el honor de despedir a Alberto a su exilio en nombre de la AdAA (sin mencionar su nombre, por su expreso pedido de mantener el secreto de su radicación en Canadá). Lo hice en el discurso de cierre de las Terceras Jornadas Argentinas de Acústica

Tengo en mi mano el manuscrito del discurso de cierre de las Jornadas con las correcciones de último momento en que hablo de los esfuerzos de los investigadores argentinos para continuar su trabajo en condiciones adversas...

Cito textualmente esa parte: [Hablo de los investigadores] *“Los vemos como antiguos caballeros defendiendo causas perdidas en las que sus contemporáneos no creen, mendigando recursos financieros para librar nuevas batallas. Encerrados en las sitiadas torres de sus castillos y perdiendo cada tanto a un camarada. No con la muerte grande del guerrero sino con la pequeña muerte del destierro...”*

En aquel momento, pese a mi tristeza comprendía que estaba avanzando en su carrera y que se abrirían nuevas posibilidades de realización profesional. Afortunadamente pudimos seguirnos viendo muchas veces después disfrutando de nuestra amistad, pues frecuentemente visitaba Buenos Aires para pasar dos

o tres semanas y a menudo para dictar cursos de su especialidad.

A lo largo de su larga vida en Canadá siempre siguió con una mágica conexión con Buenos Aires. Nos escribía muy frecuentemente través de sus cartas, que luego fueron en FAX, más tarde por e-mail y finalmente por Whatsapp, viéndonos las caras. Nos explicaba qué espectáculos deseaba ver, pues era amante del teatro y por supuesto en sus visitas era común asistir a una velada en el Teatro Colón.

Luego de su retiro profesional, su interés por los viajes y el teatro creció considerablemente. Nos acompañaba por WhatsApp en nuestros viajes por Europa que conocía muy bien pues era un gran viajero y además había residido de niño en París y luego de casado en Londres, con una beca de perfeccionamiento. Siempre nos daba consejos y disfrutaba a través de mí y de María Teresa, mi esposa, de las visitas a museos y de compartir experiencias.

El «Congreso contra los ruidos molestos» de 1932 en Buenos Aires y su «Cartilla del silencio»

“Congress against annoying noise” of 1932 in Buenos Aires and its “Booklet of silence”

O “Congresso contra o barulho molesto” de 1932 em Buenos Aires e sua “Cartilha do silêncio”

Walter A. Montano Rodríguez¹ ORCID 0000-0002-0059-5257

¹ARQUICUST, Argentina

Correo de contacto: montano_walter@yahoo.com.ar

Resumen

A raíz de la difusión de la Campaña contra el ruido que la ciudad de Nueva York realizó entre 1928 y 1929, asociaciones de personas en las grandes ciudades del mundo imitaron esas acciones y a través de la prensa iniciaron campañas locales para combatir el ruido molesto. Hay antecedentes que en algunas ciudades de Argentina en 1929 existieron movimientos vecinales que abogaron por la lucha contra los ruidos innecesarios, iniciando también acciones para que las autoridades impongan ordenanza para controlarlos y eventualmente multar a quienes los produzcan. Diversas agrupaciones de vecinos de la ciudad de Buenos Aires confluyeron en marzo de 1932, junto a destacadas figuras de la vida política porteña, para organizar el primer «Congreso contra los ruidos molestos» de la Argentina, del cual poco se conoce. En este artículo se comentarán las actividades que se hicieron durante el día de su apertura, cuando definieron sus objetivos y la agenda de trabajo, también la «Cartilla del silencio», documento donde expresaron los criterios médicos, legales y subjetivos de los efectos perniciosos del ruido en las personas.

Palabras claves: Acústica, Ruido, Historia de la ciencia, Acciones anti-ruido, Ordenanzas.

Abstract

Community groups in major cities around the world imitated the actions of the New York Noise Abatement Campaign of 1928-1929 and initiated local campaigns through the press launched local campaigns to combat annoying noise. There are records of social movements in some Argentinean cities in 1929 to fight against unnecessary noise, including actions to get the authorities to pass by-laws to control it and, eventually, to fine those who produced it. In March 1932, several social groups in the city of Buenos Aires, together with prominent political figures of this city, came together to organize the first “Congress against Noise Pollution” in Argentina, of which little is known. This article remarks on the activities that took place on the first day, when the objectives and the working agenda were defined, and on the “Booklet of silence” a document that expressed the medical, legal and subjective criteria of the negative effects of noise on human health.

Keywords: Acoustics, Noise, History of Science, Anti-noise actions, Ordinances.

Resumo

Após a difusão da Campanha Contra o Ruído em Nova York, entre 1928 e 1929, associações de pessoas em grandes cidades do mundo imitaram essas ações e, por meio da imprensa, iniciou campanhas locais para combater o incômodo causado pelo ruído. Há evidências de que em algumas cidades da Argentina, em 1929, havia movimentos sociais que advogavam a luta contra ruídos desnecessários, iniciando também ações para que as autoridades impusessem leis para controlá-los e, eventualmente, multassem aqueles que os produziam. Em março de 1932, vários grupos sociais da cidade de Buenos Aires, juntamente com figuras políticas nessa cidade de destaque, reuniram-se para organizar o primeiro “Congresso contra a poluição sonora” na Argentina, do qual pouco se sabe. Este artigo comentará as atividades realizadas no dia da abertura, quando foram definidos os objetivos e a agenda de trabalho, bem como a “Cartilha do silêncio”, um documento no qual foram expressos os critérios médicos, legais e subjetivos dos efeitos negativos do ruído sobre as pessoas.

Palavras chave: Acústica, Ruído, História da ciência, Ações antirruído, Ordenanças

RECIBIDO: 02/05/2023 - ACEPTADO:30/05/2023

1. INTRODUCCIÓN

El primer «Congreso contra los ruidos molestos» que se hizo en Argentina, se realizó en marzo de 1932 en la ciudad de Buenos Aires, siendo esta actividad prácticamente desconocida; en una reciente investigación etnográfica lo ubica erróneamente como efectuado en 1933 (Petit de Murat & Di Tullio, 2021), porque el único material que estaba disponible en Internet, hasta hoy, sobre dicho congreso es un documento conocido como la «Cartilla del silencio» que se editó en 1933 (de ahí la confusión).

El autor de este artículo halló el dato aislado de este Congreso en 2020, teniendo que esperar hasta el 2023 a que se superen las restricciones por la pandemia de la COVID, para ingresar libremente a una hemeroteca y consultar el ejemplar del diario *La Razón* que lo cubrió periodísticamente. Este artículo comentará lo que se discutió el día de apertura de este Congreso, basado en lo que publicó dicho diario.

2. INICIO DE LA INVESTIGACIÓN

Una conjetura de que se había realizado en Buenos Aires acciones contra el ruido en la década del 30, el autor la halló en el diario *New Zealand Herald* (mientras hacía una investigación para la Acoustical Australian Society), que publicó el 8 de enero de 1937 una carta al editor realmente curiosa, escrita por un médico que vivió en Buenos Aires y se mudó a Nueva Zelanda; en ella expresaba su queja de que Auckland era una ciudad ruidosa y a continuación comentó «las medidas anti-ruido que se habían hecho años anteriores en Buenos Aires» y también que se había votado una «Ordenanza de supresión de ruidos molestos», agregando que debería hacerse lo mismo en Nueva Zelanda (Herald, 1937).

La revista *Caras y Caretas* de Argentina entre 1898 y 1939 fue el medio de comunicación por excelencia que semanalmente resumía los hechos sociales y políticos, y es una de las mejores fuentes de información de lo acaecido en aquellos años; se encuentra en el número que se publicó el domingo 27 de marzo de 1932 (ver Fig. 1), la mención a la realización del Congreso anti-ruido (Caretas, 1932) y no hay comentarios acerca del mismo en los números posteriores.



Figura 1. Difusión del Congreso anti-ruido

Otra reseña a este Congreso se halla en la conferencia «Consideraciones de índole médica sobre el ruido en la ciudad», brindada por el médico uruguayo Pedro Belou en 1936 en Buenos Aires, quien refiriéndose al ruido de la ciudad dijo —sin agregar más datos— que «este tema ha sido tratado en nuestra Academia de Medicina [también] ha sido objeto de un Congreso del Ruido» (Montano, 2022) (Belou, 1937).

Puesto que las evidencias a ese congreso contra el ruido son muy concretas, era de esperar que hubiese tenido cobertura periodística, y ante la falta de documentación de esa época digitalizada en Internet, se tuvo que recurrir a la búsqueda de datos en archivos físicos, que fueron encontrados en la hemeroteca de la Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

3. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN SOCIAL RESPECTO AL RUIDO EN CIUDADES ARGENTINAS

La historia es un constructo social que se desarrolla en forma paulatina, por lo que los hechos no ocurren ‘abruptamente de un día para el otro’, sino que se van gestando a lo largo del tiempo y lo mismo sucedió con este Congreso, que habrá sido resultado del devenir de la problemática del ruido en la salud de las personas que vivían en Argentina.

Las primeras menciones directas al ruido como molestia en la prensa argentina (comentadas sin metáforas ni sarcasmos) datan de 1929, y en esto el autor conjetura que deben ser a raíz de la difusión mundial que tuvo la campaña anti-ruido realizada en Nueva York entre 1928 y 1929, entonces es de suponer que las personas en Argentina sensibilizadas por los problemas a la salud del ruido de sus ciudades desearan imitar aquellas acciones.

Federico Miyara (docente e investigador de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina) comenta, en correos intercambiados con el autor, que en ciertas localidades de la provincia de Santa Fe, Argentina, en 1929 existieron movimientos vecinales que abogaban por una lucha contra el ruido, y para el caso de Rosario

se incorporó a una ordenanza el control del ruido de los tubos de escape (Miyara, 1998); un dato también de 1929, proveniente de un diario de Barcelona, da cuenta que «Los periódicos bonaerenses nos hablan de la lucha contra el ruido» (Diluvio, 1929), dando una evidencia más a que esas acciones vecinales fueron trascendentes.

Respecto a la ciudad de Santa Fe, un artículo titulado «Santa Fe, es la ciudad de los ruidos musicales molestos y que interrumpen el tráfico» que se publicó en julio de 1930, arremete contra los ruidos innecesarios que molestaban a la gente, criticando el alto volumen de las radios y de las victrolas dejando en claro que no se oponen a la música sino a que no se debe abusar de su reproducción a cualquier hora del día (Orden, 1930).

Se encuentra el Fallo de un Juez de la ciudad de Buenos Aires de diciembre de 1931, que sentó jurisprudencia al condenar por ruidos molestos a una persona, porque tenía encendida la radio todo el día y parte de la noche; este dato es relevante porque entre los antecedentes esgrimidos para esa Sentencia, además de tener en cuenta consideraciones legales sobre las ordenanzas existentes, adicionalmente se estuvo «atento a ciertas legislaciones similares que rigen en Europa y Norteamérica en que las municipalidades han dictado ordenanzas disponiendo que la intensidad de los ruidos deben graduarse» (Orden, 1931), mostrando este párrafo que las personas en aquellos años estaban al tanto de lo que ocurría en otros países en materia legislativa anti-ruido.

4. EL PRIMER CONGRESO CONTRA LOS RUIDOS MOLESTOS QUE SE REALIZÓ EN BUENOS AIRES

Desde 1925 en el seno del Concejo Deliberante de la ciudad de Buenos Aires, se venía discutiendo la necesidad de tener una ordenanza contra el ruido molesto que estuviera a la altura de una gran ciudad, porque la vigente a 1932 era de 1915 (con actualizaciones), que fue muy criticada por la prensa cuando se la impuso, y la revista *Caras y Caretas* la parodia sarcásticamente con una viñeta sin textos, mostrando a todas las personas amordazadas con paños en la boca (Caretas, 1915).

Resalta de las versiones taquigráficas de las reuniones de 1925 (no están digitalizadas), que el estado nervioso de los porteños era muy alto a causa del ruido del tránsito (de los escapes libres, de las bocinas, etc.),

estado mental que se lo identificaba como «neurastenia», convirtiéndose esto en una preocupación médica pero también legal.

A fines de la década del 20 las ideas higienistas y del urbanismo en las ciudades se estaban insertando en la sociedad, y los vecinos porteños crearon diversas asociaciones para promoverlas (un grupo de legisladores del Partido Socialista fueron sus abanderados), y la cuestión de los ‘ruidos innecesarios’ o ‘ruidos inútiles’ –tal como se los calificaba en ese entonces–, integraron parte de su agenda de compromisos.

Esos antecedentes mencionados, son los que habrían motivado a que un colectivo de personas influyentes abogase por un congreso multidisciplinario (al igual de los que se realizaban en Europa o en los EE. UU.), para tratar la problemática del ruido en la salud en los porteños.

Finalmente, la asociación *Amigos de Belgrano* (en referencia a ese barrio de la ciudad de Buenos Aires), en la sede barrial de la Sociedad Española de Socorros Mutuos (ver Fig. 2), realizó el primer «Congreso contra los ruidos molestos» en Buenos Aires (también de la Argentina), a veces mencionado como ‘Congreso del ruido’, en la mañana del domingo 27 de marzo de 1932, entre los que se encontraban médicos, periodistas, políticos, técnicos, legisladores, abogados, ingenieros, militares, etc.

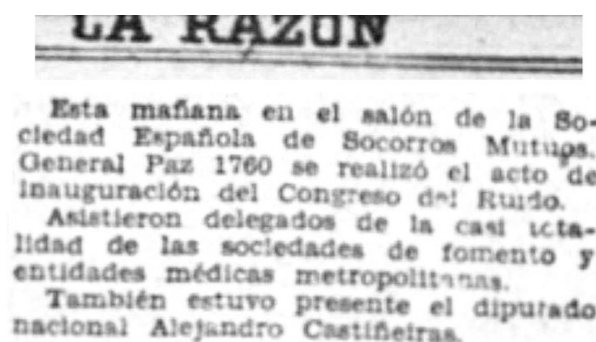


Figura 2. Encabezado noticioso, inicio del Congreso

4.1 Los organizadores del Congreso

El presidente de la mencionada asociación era Miguel A. Lancelotti (a veces escrito como ‘Lancellotti’ o ‘Lamellotti’), empresario e influyente abogado penalista, quien es la persona clave a que se concrete el Congreso contra los ruidos molestos. Aquí se comparten datos de las personas que se encuentra información en Internet, que se los mencionan como constituyentes de las comisiones de trabajo.

Carlos P. Ancell. Arquitecto, aparece vinculado al Consejo Nacional de Educación.

Lucas Ayarragaray. Destacado psiquiatra, condujo la comisión técnica de este Congreso; fue político, historiador, diputado y diplomático; desde la Academia de Medicina organizó diversas conferencias de los problemas mentales generados por el ruido de la ciudad.

Alejandro Eduardo Castiñeiras. Docente, intelectual, concejal y diputado por el socialismo, fue un reconocido periodista; su trabajo legislativo estaba comprometido por mejorar el bienestar y la salud de los trabajadores, junto al de sus familias.

Enrique Gonella. Ingeniero civil, integraba el *Círculo de inventores*.

Adrián Ruiz Moreno. Coronel e ingeniero geógrafo, fue el creador del *Círculo Argentino de Inventores* en 1922, además fue un destacado investigador; su biblioteca única en la Argentina fue destruida en 2001 cuando demolieron su antiguo domicilio.

José Rouco Oliva. Su interés siempre estuvo puesto en las concepciones modernistas del urbanismo siendo concejal y luego como diputado socialista, pero al ser duramente criticado por su pertenencia al socialismo, abandonó la militancia para dedicarse de lleno a la promoción del urbanismo; fue un destacado periodista e intelectual, y entre las asociaciones que representó llegó a ser presidente de la Cruz Roja Argentina; en 1934 redactó un proyecto de ordenanza para el control de los ruidos molestos (Oliva, 1934), que nunca tuvo tratamiento legislativo.



Figura 3. Intervención de Rotta en el Congreso

Vicente R. Rotta. Escribano de profesión, fue conocido en el Concejo Deliberante como el socialista propulsor de los espacios verdes en la ciudad de Buenos Aires; sus preocupaciones se centraban en la vivienda social de los trabajadores y la higiene urbana.

Dionisio Sagazola. Dirigente y personaje del Club Atlético Platense.

Jorge Siches. Militar y político, llegó a ser gobernador del Territorio Nacional de Tierra del Fuego.

Alfredo L. Spinetto. Médico, que como concejal socialista, abogó por un ambiente saludable en las viviendas de los trabajadores y en su lugar de labores; fue el encargado de la conferencia de cierre de este Congreso.

José Honorio Silgueira. Destacado jurista, llegó a presidir el Colegio de abogados de Buenos Aires.

Juan P. Trebino. Se encuentra en listados de que ejerció como Juez de Paz.

3.2 Los temas y objetivos del Congreso

En el discurso de apertura, Lancelotti presentó las justificaciones de la realización de este Congreso contra el ruido, y refiriéndose a la ciudad de Buenos Aires sentenció que «es la nuestra en ese sentido una ciudad histórica» y que urgía la necesidad de ponerle fin a los ruidos innecesarios porque «creo firmemente que de continuar así las cosas, los perniciosos efectos de esa moderna plaga de los ruidos sobre la salud pública serán irreparables». Los extractos de su discurso inaugural publicados son de una actualidad sorprendente, porque esos lamentos de la década del 30 siguen vigentes en pleno siglo XXI, lo que ha cambiado son las fuentes que originan el ruido mas no el tipo de quejas y reclamos.

Queda en evidencia la preocupación que tenían los organizadores del Congreso, sobre los efectos negativos del ruido de los cuales el gobierno no intervenía con acciones políticas o legislativas para evitarlos: «creo firmemente que de continuar así las cosas, los perniciosos efectos de esa moderna plaga de los ruidos sobre la salud pública serán irreparables».

Las temáticas que expuso Lancelotti, si bien redundaban en analizar los problemas en la salud a causa del ruido, muestran optimismo de que se pudiese lograr algún control en al menos de quienes los produjeran, porque tenían el apoyo de los medios de comunicación de difundir este nuevo flagelo ciudadano:

«Este congreso se inicia bajo los mejores auspicios. Se inicia en medio de la simpatía de la prensa».



Figura 4. Presentación del *leitmotiv* del Congreso

Después de otras consideraciones, Lancelotti recordando que los ruidos no sólo ejercen su nociva influencia sobre la salud, sino también sobre el rendimiento del trabajo, declaró abierto el «Congreso contra los ruidos molestos».

5. EL PLAN DE TRABAJO DEL CONGRESO

De lo que se lee en esa reseña periodística, no hay especificaciones pero queda en claro que este Congreso tuvo varios días de funcionamiento, dada la cantidad de comisiones de trabajo que se conformaron para discutir sobre catorce ítems. Entre los materiales que utilizaron como referencia para sus discusiones, además de divulgaciones francesas y norteamericanas, se mencionan estudios de la *Liga Argentina de Higiene Ambiental* y de la *Academia Nacional de Medicina* de Argentina.

A continuación se presentan las cuatro gestiones más importantes que resultaron de este Congreso.

5.1. La «Cartilla del silencio»

Dado que las personas que organizaron este Congreso eran destacados personajes de la sociedad porteña, redactaron un documento que se llama la «Cartilla del silencio», en el cual volcaron todos los criterios médicos, legales y subjetivos de los efectos del ruido en las personas (Monitor, 1933, p.39), cuya redacción se asemeja a la de un manifiesto político.

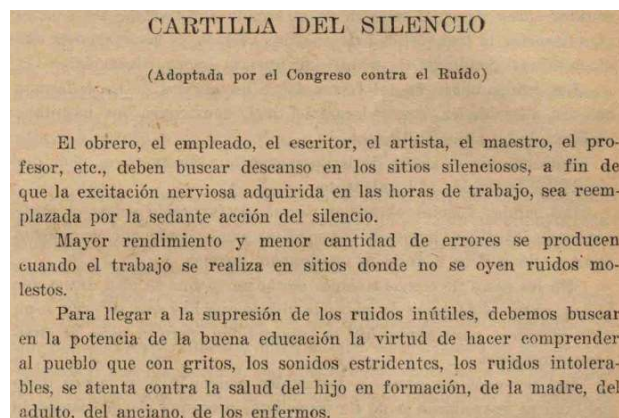


Figura 5. Portada de la *Cartilla*, 1933

Al leer la *Cartilla* sorprende y llama la atención que quienes la redactaron estaban muy informados acerca de las afecciones psicológicas y fisiológicas del ruido en la salud, porque esa temática a 1932 mayoritariamente se encuentra en publicaciones escritas en inglés, francés o alemán, lo poco que se encuentra en castellano son traducciones y/o compilaciones de esas investigaciones.

Replicando la línea de razonamiento economicista de los medios de comunicación norteamericanos, diferencian los ‘ruidos necesarios’ (aquellos que deben de soportarse porque movilizan la economía) de los ‘ruidos innecesarios’ (los que molestan interrumpiendo el descanso y producen enfermedades); es importante comprender el porqué de esa visión, ya que a principios de la década de 1930 todavía no se tenía la visión holística que hoy le damos a la problemática del ruido, debiéndose recordar que en 1932 todavía se estaban sufriendo las consecuencias de la crisis mundial de la caída de las Bolsas, por lo que escuchar música por la radio era el único entretenimiento y distracción al que podían acceder.

El Ministerio de Educación de Argentina publicaba regularmente «El monitor de la educación común», que fue el encargado de difundir por muchos años temas pedagógicos y asuntos burocráticos; tal vez por los contactos políticos que tenían algunos de los organizadores de este Congreso, tuvieron la oportunidad de editarlo ahí para que pudiera ser utilizado como material pedagógico.

En términos del siglo XXI se podría decir que la *Cartilla* tiene un contenido progresista para la época, ya que hacen hincapié (entre otros asuntos médicos y psicológicos) en que las embarazadas deben estar en sitios tranquilos para no alterar la salud del feto en gestación (Monitor, 1933, p.41).

II
 Peticiones particulares
 —El Comité Permanente del Congreso contra el ruido,
 solicita la disminución de derechos de aduana a toda
 materia prima destinada para la fabricación de cubier-
 tas para vehículos y de todo otro artefacto para los fi-
 nes de amortiguación de ruidos.
 —A la Comisión de Presupuesto.

Figura 6. Petición presentada al Senado

5.2. Promover el uso de artefactos anti-ruido

Dada la participación del *Círculo de inventores* en este Congreso, seguramente impulsaron a que en mayo de 1932 se presente una petición (ver Fig. 6) ante el Senado de la Nación Argentina, realmente curiosa. Hacia 1932 Argentina todavía no tenía industrias pesadas y mucho menos manufactura de dispositivos acústicos, por lo que solicitar la reducción de impuestos para la importación de elementos que controlasen el ruido, sería una forma de estimular el trabajo de técnicos e inventores argentinos.

5.3. Ordenanza contra los ruidos molestos

Ya se comentó que Vicente Rotta en 1925 inició la discusión parlamentaria sobre los problemas del ruido en la ciudad de Buenos Aires (lo hizo junto a otros concejales porteños), que resultó en un proyecto de ordenanza hacia 1930 y nunca tuvo tratamiento en comisiones; a posterior de este Congreso se impulsó a que fuese discutido en el pleno del Concejo Deliberante, para finalmente aprobarse en diciembre de 1933 como la Ordenanza N° 5.388 llamada «Reglamento de la Ordenanza sobre represión de ruidos molestos» (Montano, 2016, p.203).

5.4. Comisiones de trabajo

Queda en evidencia las ansias que tenían de relacionar las múltiples disciplinas que vinculan la problemática del ruido, por lo que durante este Congreso se crearon las siguientes comisiones de trabajo: Legislación, Propaganda, Gestión ante las autoridades, Técnica del ruido, Temas libres afines a los problemas del ruido, y Estímulo a inventores. No se lo menciona tácitamente, pero también existió un «Comité permanente del Congreso contra el ruido», que fue el encargado de hacer la petición comentada y la redacción de la «Cartilla del silencio».

6. LOS ANHELOS DEL CONGRESO CONTRA EL RUIDO

Lancelotti en su discurso de apertura y en el informe que leyó Rotta, ambos expresaron el deseo de que las autoridades de la Municipalidad de la ciudad de Buenos Aires ‘tomaran cartas en el asunto’ para resolver el problema de los ruidos innecesarios, y que adaptasen los criterios legales del Código Civil en cuanto a la tipificación como Falta o Delito (según correspondiese), en materia de higiene pública, aquellas actividades o actitudes personales que produjesen ruido excesivo.

Ambos también consideraron que el congreso sobre los ruidos molestos debe tener en cuenta los antecedentes nacionales e internacionales, para que sus deliberaciones no se conviertan en una académica exposición de anhelos, sino que sean la resultante efectiva del deseo de la vecindad de resolver cuanto antes ‘ese flagelo del ruido’.

El congreso se ha reunido en Belgrano. Si el vecindario de ese pueblo, para nosotros tranquilo, ha sentido la necesidad de poner término al incremento del ruido, qué dirán los que sufren en pleno centro de la ciudad febril el tormento del bullicio.

Figura 7. Reflexiones sobre el ruido porteño

7. CONCLUSIONES

En este artículo el autor destacó lo más importante de lo que se trató durante la apertura del «Congreso contra los ruidos molestos», tratando de ubicarlo en el espacio socio-temporal en el cual estuvo enmarcado, ya que fue el resultado del trabajo que durante años diversos grupos de personas llevaron a cabo desde sus profesiones, para luchar contra el ruido que produce molestias y es capaz de generar enfermedades psicofisiológicas en las personas.

El rescatar de la historia las acciones sociales que quisieron impulsar los organizadores del «Congreso contra los ruidos molestos» en 1932, es importante para conocer qué cosas del pasado quedaron truncas, y son parte de un acervo cultural que se perdió.

Todavía causa sorpresa a muchas personas el hallazgo de la carta al editor publicada en 1937 en un diario de Nueva Zelanda, escrita por un médico que vivió en

Buenos Aires y se mudó a Auckland, quien fue testigo de las acciones anti-ruido porteñas que se hicieron a principios de la década del 30, carta que fue el 'disparador' de una investigación para buscar datos acerca de esos hechos, cuyos primeros hallazgos se comparten en este artículo.

Los años 30 en Argentina son conocidos como los de la 'Década infame', y la vida del Partido Socialista estuvo signada a no poder llevar a cabo sus actividades políticas, tal vez esto influyó a que no tuviesen continuidad las labores planificadas desde este Congreso (varios dirigentes socialistas integraban su comisión directiva), pero el advenimiento de la Segunda Guerra Mundial también habrá sido otro de esos factores, porque las acciones anti-ruido en los países europeos, de asociaciones y sociedades similares, se interrumpieron.

Queda para un futuro buscar en la hemeroteca nombrada, si se publicaron los resultados y conclusiones del Congreso, que por el momento no se sabe cuándo finalizó ni de si realizaron otras actividades conexas.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a Emilio Zakim quien hizo las diligencias que permitieron el ingreso a la Legislatura de la CABA, a Guillermo Sebastian Zubowicz y Rodolfo Barragán de la Hemeroteca de la Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que dieron las facilidades de búsqueda y la digitalización del microfilm del artículo del diario *La Razón*, también a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

RESPONSABILIDAD

El autor declara que este artículo no tuvo fuentes de financiamiento externo, y fue escrito en su tiempo libre; se declara también, que no hay conflictos de intereses.

REFERENCIAS

Belou, P. (1937) *Consideraciones de índole médica sobre el ruido en la ciudad*. Brazilian Journal of Otorhinolaryngology. Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico Facial, Janeiro-Febrero-(2º) Seção: Trabalhos Originais

Vol 5(1)
<http://oldfiles.bjorl.org/conteudo/acervo/acervo.asp?id=546>

Caretas (1915) *La ordenanza contra el ruido*. Revista Caras y caretas n.º 872 15/06/1915 p. 43
<https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=99eb5a12-0fe6-4bb4-bace-dea21a65e680&page=43>

Caretas (1932) *Sábado a Sábado*. Revista Caras y caretas n.º 1.749 27/03/1932 p.98
<https://hemerotecadigital.bne.es/hd/es/viewer?id=af4184e1-3a97-4dd6-bd5c-2552d6123f30&page=98>

Diluvio, El (1929) *Habana, la estrepitosa*. Diario El Diluvio. Barcelona Año 72, n.º. 292 p.30, 6/12/1929
https://arca.bnc.cat/arcabib_pro/es/consulta/resultados_ocr.do

Herald (1937) *Unnecessary noise*. New Zealand Herald January 8th, 1937, p.13
https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19370108.2.143.3?end_date=08-01-1937&items_per_page=10&query=noise&snippet=true&start_date=08-01-1937&title=NZH

Miyara, F. (1998) *Evolución histórica de la reglamentación sobre ruido en Rosario*. Segundas Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica
<https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/historia.htm>

Monitor (1933) *Cartilla del silencio (Adoptada por el Congreso contra el Ruido)*. El monitor de la educación común. Año LII N° 725, 31/05/1933 pp. 39-43
<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/monitor/monitor/725.pdf>

Montano, W. A. (2016) *La acústica en Argentina, un reportaje*. Asociación de Acústicos de Argentina

Montano, W. A. (2022) *Pedro Belou. Conferencia de 1936 sobre la hipoacusia laboral y el ruido urbano*. Historia de la Medicina. Revista Médica del Uruguay Vol(38) 4
<https://revista.rmu.org.uy/ojsrmu311/index.php/rmu/article/view/985>

Oliva, J. R. (1934) *La represión de los ruidos molestos en la ciudad*. Producción extranjera. Bogotá. Registro municipal año LIV número 41, 15 de septiembre de 1934.
<https://babel.banrepcultural.org/digital/api/colleccion/p17054coll26/id/923/download>

Orden, El (1930) *Santa Fe, es la ciudad de los ruidos musicales molestos y que interrumpen el tráfico*. Diario El

- Orden de Santa Fe, 21/07/1930, p.3
<http://www.santafe.gov.ar/hemerotecadigital/diario/878/?page=1>
- Orden, El (1931) *Un caso de jurisprudencia contra los ruidos molestos y modernos*. Diario El Orden de Santa Fe, 30/12/1931, p.3
<http://www.santafe.gov.ar/hemerotecadigital/diario/1387/?page=1>
- Petit de Murat, F. ; Di Tullio, M. (2021) *Noise as an Urban Problem. The City of Noise: An Approach to the Multiple Senses of Sound in Buenos Aires*. The Journal of Sonic Studies
<https://www.researchcatalogue.net/view/809702/809857>

Monitoreo de integridad estructural utilizando amortiguamiento por histéresis

Structural health monitoring using hysteresis damping

Monitoramento de integridade estrutural usando amortecimento de histerese

Jose de Jesus Villalobos Luna¹, ORCID: 0000-0002-3532-2005; Pedro Lopez Cruz¹, ORCID: 0000-0001-8577-4723

¹Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, N.L., México.

Correo de contacto: jose.villalobosln@uanl.edu.mx

Resumen

En este trabajo se presenta un panorama general de la estrategia de Monitoreo de Integridad Estructural, sus componentes de hardware y escala o niveles de aplicación, así como los elementos relacionados con el análisis, diagnóstico y pronóstico. Se describe el amortiguamiento interno estructural como una medida de la disipación de energía y su potencial para ser utilizado como parámetro de medición de la integridad estructural. Se realizó un proceso experimental en una probeta de unión adhesiva estructural sometida a cargas de bajo ciclaje donde se evaluó la evolución de las energías disipadas. Los resultados experimentales muestran cambios significativos en la capacidad de disipación de energía de la unión adhesiva que se relacionan directamente con la evolución del daño. Se discuten los resultados de la integración de la estrategia MIE utilizando la medición de amortiguamiento por histéresis para la evaluación del daño, la resistencia residual o la vida útil de un sistema estructural.

Palabras Clave: Amortiguamiento, histéresis, integridad estructural, monitoreo, daño.

Abstract

This paper presents an overview of the Structural Health Monitoring (SHM) strategy, its hardware components and scale or application levels, as well as the elements related to analysis, diagnosis, and prognosis. Structural internal damping is described as a measure of energy dissipation and its potential to be used as a parameter for measuring structural integrity. An experimental process was carried out in a structural adhesive union probe subjected to low cycling loads from which the evolution of the dissipated energies was evaluated. The experimental results show significant changes in the energy dissipation capacity of the adhesive union that are directly related to the evolution of the damage. The results of the integration of the MIE strategy using the measurement of damping by hysteresis for the evaluation of the damage, the residual resistance or the useful life of a structural system are discussed.

Keywords: Damping, hysteresis, structural health, monitoring, damage.

Resumo

Neste trabalho é apresentado um panorama geral da estratégia de Monitoramento de Integridade Estrutural, seus componentes de hardware e escala de níveis de aplicação, bem como os elementos relacionados com a análise, diagnóstico e pronóstico. Descreve-se o amortecimento interno estrutural como uma medida da dissipação de energia e seu potencial para ser utilizado como parâmetro de medição da integridade estrutural. Realizou-se um processo experimental em uma sonda de união adesiva estrutural com cargas de baixo ciclo onde se avaliou a evolução das energias dissipadas. Os resultados experimentais mostram mudanças significativas na capacidade de dissipação de energia da união adesiva que se relacionam diretamente com a evolução do dano. Ele discute os resultados da integração da estratégia MIE usando a medição de amortecimento por histérese para avaliação do dano, resistência residual ou vida útil de um sistema estrutural.

Palavras-chave: Amortecimento, histerese, integridade estrutural, monitoramento, danos.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un panorama general de la estrategia Monitoreo de Integridad Estructural (Structural Health Monitoring, SHM) y el amortiguamiento por histéresis como parámetro potencial de monitoreo de la vida útil, resistencia residual o progresión de daños en estructuras.

La estrategia de MIE consiste en la implementación de tecnologías de medición automatizada de parámetros mecánicos para la identificación de daños en componentes críticos estructurales para la ingeniería aeroespacial, civil y mecánica. La estrategia de MIE ha sido implementada desde los años 70's (Doebbling, Farrar, Prime, & Shevitz, 1996; Kandl & Groghan, 1980) con diferentes objetivos, alcances y herramientas tecnológicas de las diferentes épocas. Sin embargo, la tecnología de sensores de deformación proviene desde inicios del siglo XX (Glisic, 2022). El avance de procesadores, software, protocolos de comunicación por internet y velocidad de la red permite una adquisición, procesamiento y análisis de datos de forma "instantánea" o "tiempo real" lo suficientemente rápido para los tomadores de decisiones virtuales o humanos y contar con información confiable y certera.

En términos generales, las estructuras diseñadas para las industrias aeroespaciales, automotrices o civiles se desarrollan bajo el concepto de mayor resistencia y menor peso o mayor eficiencia estructural. Sin embargo, aunque hay muchos avances en este rubro, las técnicas de inspección de calidad encuentran obstáculos derivados de la imposibilidad de inspeccionar todos los modos de falla de forma confiable, repetitiva y garantizar la seguridad.

Por ejemplo, los altos estándares que exige la industria aeronáutica, no ha sido posible implementar el uso de las uniones adhesivas de manera extensiva por si solas en componentes estructurales primarios. Esto debido a la falta de comprensión completa y 100% replicable de todos los modos de fallas posibles que se producen por las múltiples combinaciones de parámetros, tales como tipos de materiales de sustratos (metales, compuestos, metamateriales, etc.), tipos de adhesivos, geometría de la unión (tipo, espesores, traslapes, etc.), preparación de las superficies, tipos de carga (estática, cíclica, impacto, aleatoria), condiciones de prueba, escalabilidad, condiciones ambientales, envejecimiento de sustratos, adhesivos, resinas, etc. Por lo anterior, las

unionen adhesivas se utilizan como sistema de respaldo de las uniones mecánicas en base a remaches, siendo uniones híbridas las utilizadas en estructuras primarias. Sin embargo, la necesidad de conocer la vida útil, residual o progresión de daños en las uniones es una tarea primordial para el uso seguro de la tecnología de uniones adhesivas.

La medición de amortiguamiento se está volviendo una técnica atractiva que puede ser por si misma de mayor grado de sensibilidad al daño que los cambios en frecuencias modales o cambios en degradación de la elasticidad. (Amafabia, Montalvão, David-West, & Haritos, 2017).

2. ESTRATEGIA DE MONITOREO DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

Actualmente la estrategia de MIE puede implementarse a casi cualquier aplicación, desde maquinaria industrial, turbinas de vapor y gas, tanques de almacenamiento de combustibles, estructuras civiles como edificios o puentes, así como para vehículos de transporte terrestre, marítimo, aéreo y espacial como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

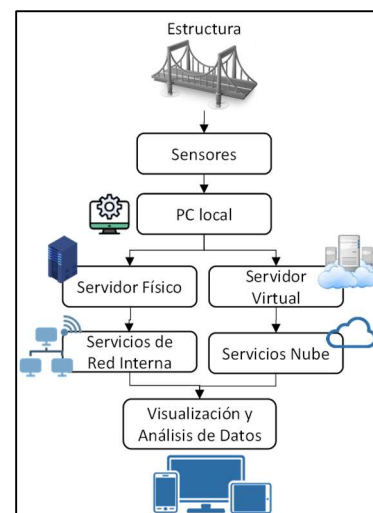


Figura 1. Esquema del monitoreo de integridad estructural

La estrategia de MIE se lleva a cabo mediante una infraestructura física de sensores, equipos de comunicación, transferencia y almacenaje de información y las modernas infraestructuras digitales en la nube, sin embargo, es posible que pueda ser implementada en partes, de acuerdo con la escala de la aplicación. Desde una escala del tipo local o aislada, en una escala de red interna en la que puedan interactuar

con la estructura y el sistema de medición sin compartir información fuera de la red local o interna de la organización y por último a la escala de la nube o global, accediendo a la información de la estructura o proyecto desde cualquier parte del mundo.

- *Escala local.* Es la configuración más sencilla y permite extraer la información directamente en el sitio de la prueba, a pie de estructura, máquina (o dentro de una estructura móvil). A esta escala, solo se requiere la comunicación directa entre sensores, tarjeta de adquisición de datos y el equipo de cómputo donde se almacenan los datos de medición de forma local o aislada. Es comparable con una escala de medición en laboratorio.
- *Escala red interna.* Esta estrategia es muy optima debido a que se provee de un sistema de monitoreo automatizado, que permite visualizar en tiempo real la condición estructuras, máquinas y estructuras móviles y en consecuencia planear las actividades de mantenimiento o intervención reduciendo costos por fallas repentinas inesperadas o paros no deseados. La información se queda dentro de la organización, sin la necesidad de ser compartida hacia el exterior dentro de un marco de confidencialidad y seguridad. Respecto a la escala de implementación, puede aplicarse a una o varias máquinas o estructuras que se encuentren en el dominio de la red interna de la empresa, aunque las aplicaciones se encuentren en lugares apartados geográficamente.
- *Escala en la nube o global.* Mediante proveedores de servicios de la nube puede coordinarse el enlace de varias instalaciones en cualquier ubicación del mundo (fijas o móviles). Los servicios que ofrecen los diferentes proveedores de la nube van desde almacenamiento, respaldo, procesamiento, descarga y visualización, herramientas de análisis y reportes, todo mediante contratos de servicios, pólizas de garantía, seguros contra ataques cibernéticos, etc.

Además de la estrategia MIE, para lograr su objetivo, debe utilizar métodos de procesamiento de datos automatizados que permitan en tiempo real analizar, diagnosticar y pronosticar las condiciones de integridad estructural de un sistema estructural.

a) *Análisis y diagnóstico.*

Los *elementos de evaluación operacional y adquisición de datos, normalización y limpieza* son elementos muy importantes de la etapa de análisis y diagnóstico de MIE, sin embargo, quedan fuera del alcance de este trabajo. Centraremos la descripción en dos elementos que son la *Selección de características y condensación de la información y el Desarrollo de modelos estadísticos y características de discriminación*.

- *Selección de características y condensación de la información.* Una vez que se cuenta con los datos válidos, es necesario encontrar patrones dependiendo de la naturaleza de la(s) variable(s) medidas (Farrar & Sohn, 2000). Cada variable tiene su propio comportamiento por lo que hay que analizarlas por separado.

En el caso del análisis estructural, los patrones de carga vs desplazamiento, funciones de respuesta a la frecuencia o lazos de histéresis forman patrones reconocibles que fácilmente pueden identificarse, así como los cambios que se produzcan en estos.

Es en el proceso de identificación, los datos medidos, podrían ser sometidos a la comparación de los algoritmos de los Modelos de Histéresis (Hassani, Tjahjowidodo, & Do, 2014) (Macki, Nistri, & Zecca, 1993) (Ismail, Ikhoulane, & Rodellar, 2009) y eventualmente evaluar el nivel de daño en tiempo real.

Otro patrón de comparación son los cambios en propiedades mecánicas de una estructura bajo la ausencia o presencia de fallas. El reconocimiento de dichos patrones, pueden ser identificados mediante algoritmos de inteligencia artificial o redes neuronales y realizar un análisis más eficiente.

- *Desarrollo de modelos estadísticos y características de discriminación.* Actualmente existen avances en el desarrollo de algoritmos que desarrollan modelos estadísticos basados en inteligencia artificial, los cuales se clasifican en: aprendizaje supervisado (clasificación por grupos y regresiones), aprendizaje no supervisado (sin ejemplos de patrones) y detección de valores atípicos o novedosos. Los resultados de estos algoritmos arrojan resultados estadísticos de las variables en cuestión o en el caso de estructuras pueden arrojar parámetros estadísticos que evalúen la presencia o progresión del daño.

b) Pronóstico.

El pronóstico (Elattar, Elminir, & Riad, 2016) es la última etapa del MIE y el potencial mayor de todo el sistema. En concepto es el mismo utilizado en mantenimiento predictivo como diagnóstico y pronóstico basado en condición. Se pronostica con base en patrones reconocibles, repetibles y tendencias de los datos. Normalmente el pronóstico permite ajustar la planeación de actividades de mantenimiento de manera más eficiente y garantizar la disponibilidad de equipos y estructuras. Normalmente el pronóstico es una proyección en el tiempo de la condición, daño o vida útil de una máquina o estructura basado en el comportamiento histórico de los datos. De esta manera, cobra relevancia el tipo y detalle de la información almacenada y el tiempo de almacenamiento, lo que conlleva a sistemas de almacenamiento robustos en donde la información se encuentre disponible para análisis más detallados de manera automatizada o con intervención de humanos.

3. AMORTIGUAMIENTO POR HISTÉRESIS

El amortiguamiento en términos mecánicos es la capacidad de disipar la energía en forma de calor de los cuerpos o sistemas oscilatorios dando como resultado un cambio en la amplitud de las oscilaciones o alteración en la deformación (Braun, Ewins, & Rao, 2002; Goodman, 2002). Todos los sistemas físicos, máquinas y estructuras, solo son más o menos eficientes mecanismos de transferencia de energía. La energía será disipada en diferentes escalas, desde la interacción de la estructura con su entorno (aero e hidro elásticos), sus interconexiones (uniones mecánicas) e interfases internas (adhesivos) y en la capacidad de disipación de energía que tienen los materiales sólidos a todas sus escalas.

La definición más aceptada por la comunidad científica de la palabra histéresis (del gr. ὑστέρησις *hystérēsis* 'retraso' der. de ὕστερος *hýsteros* 'posterior, siguiente') es un “fenómeno por el que el estado de energía de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce” (Diccionario de la Lengua Española, s.f.). O, dicho de otra manera, es el retraso de la respuesta

(efecto) detrás o retrasado temporalmente a la acción (causa).

Se tiene registro del fenómeno de histéresis por lo menos desde 1885 por Prof. J.A. Ewing cuando realizó su publicación *Experimental Researches in Magnetism*, donde describe el fenómeno de histéresis al trabajar en conductores de hierro de la siguiente manera: “Y de manera más general, si una pieza de hierro, magnetizada o no, se somete a variaciones cíclicas de esfuerzo, se puede demostrar que algunas de sus cualidades físicas, aunque varían cíclicamente como consecuencia de los cambios de tensión, presentan este... retraso” (Ewing, 1885).

El amortiguamiento en general se puede clasificar como no estructural o externo y estructural o interno. El amortiguamiento externo o no estructural son el amortiguamiento por fricción seca o de Coulomb y el amortiguamiento fluido (viscoso o turbulento). A su vez, el amortiguamiento interno o estructural se puede clasificar en amortiguamiento por histéresis, viscoelástico, de interfases (Banks & Inman, 1989) o por inestabilidades estructurales (Padthe, Chaturvedi, Bernstein, Bhat, & Waas, 2008).

Desde el punto de vista mecánico en materiales y estructuras el amortiguamiento por histéresis es el resultado a escala macroscópica de la interacción de varios mecanismos de disipación de energía a una escala menor (Lesieutre, 2002), es decir, es la medida de la disipación de energía asociada con los defectos microestructurales, tales como fronteras de grano, impurezas, efectos termo elásticos causados por gradientes de temperatura locales resultado de esfuerzos por estructuras vibrantes, efectos de corrientes de Eddy en materiales ferromagnéticos, movimientos de dislocaciones en metales (Zhang, Perez, & Lavernia, 1993) y movimiento en las cadenas de polímeros (Panteliou, Chondros, Argyrakis, & Dimarogonas, 2001). Sin embargo, queda aún a discusión cuales son fenómenos lineales o no lineales, dependientes de la función de entrada o dependientes o independientes del tiempo. La variedad de comportamientos existentes por la diversidad de materiales y estructuras no permite tener un modelo único para representar el amortiguamiento de todos los materiales. No obstante, a continuación, se utilizará el amortiguamiento por histéresis por ser predominante en estructuras con materiales avanzados, compuestos tipo sándwich, fibras de carbón y uniones adhesivas.

Cuando un material es deformado por cargas cíclicas, la energía es almacenada y disipada debido a diferentes mecanismos como la fricción seca o viscosa entre las capas de materiales, interfaces entre materiales disimiles, planos internos en materiales solidos cristalinos o amorfos, por dislocaciones en los materiales solidos con estructura atómica cristalina o por la fricción entre las moléculas entrelazadas de los materiales poliméricos como lo son los enlaces moleculares en los adhesivos epóxicos.

Para englobar los efectos de la disipación de energía en un sistema amortiguado, puede caracterizarse mediante la construcción del lazo de histéresis en el plano fuerza-desplazamiento o plano F-D por lo que está relacionado con la energía disipada por ciclo de movimiento por medio de la ecuación:

$$W_d = \oint F dx \quad \text{Ec. (1)}$$

En la Figura 2 se representa el modelo de un sistema $b-k$ de primer orden, donde k es la elasticidad del material y b es la representación del amortiguamiento por histéresis relacionado con la capacidad de disipación de energía de un material bajo cargas cíclicas. En la Figura 3 se muestra el lazo de histéresis que se construye a partir de la Fuerza y Desplazamientos del modelo $b-k$.

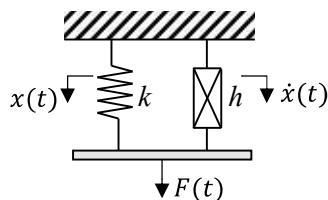


Figura 2. Modelo de primer orden de 1 GDL de sistema $b-k$

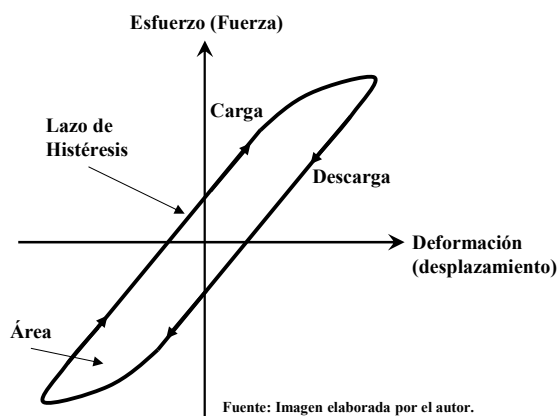


Figura 3. Lazo típico de amortiguamiento por histéresis.

Para fines de una solución práctica, la Ec. (1), puede resolverse para una función general armónica de fuerza y desplazamiento y por lo tanto, la energía disipada puede expresarse en términos de la histéresis y la energía total aplicada mediante la Ec.(2):

$$W_d = \frac{h}{k} W_{\max} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

h : Constante de amortiguamiento por histéresis (N/m).

k : Constante de rigidez equivalente (N/m)

W_d : Energía disipada en un ciclo (*Joules*)

$W_{\max}$: Energía máxima total aplicada en un ciclo (*Joules*)

Como es sabido, existe la degradación o pérdida de la elasticidad de los materiales al ser sometidos a cargas cíclicas. Dicha degradación tiene un efecto en cambios de las propiedades mecánicas y la resistencia de un material. De la misma manera, las propiedades amortiguantes deben tener un cambio, sin embargo, no es posible determinar *a priori* alguna función de cambio de este hasta que no sea medida experimentalmente.

Sin embargo, debido a que existen cambios en las constantes de elasticidad y amortiguamiento del sistema, la relación h/k se ve afectada y por lo tanto de verás afectada la energía disipada siendo un parámetro potencial para ser utilizado para la detección de cambios en las propiedades de elasticidad y amortiguamiento de un sistema físico.

4. EXPERIMENTACIÓN

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de una probeta típica de una unión adhesiva estructural con sustratos de aluminio 6063-T5 unidos mediante el adhesivo epóxico 3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive EC-2216 B/A (3M Company, 2017) con base al ASTM D1002-10 Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal) (ASTM International, 2010). Una unión adhesiva es un sistema estructural complejo donde el fenómeno de adhesión se logra mediante la conjunción de fuerzas mecánicas, reacciones químicas entre sustratos y adhesivos, así como fuerzas cohesivas en el interior del adhesivo.



Figura 4. Probeta de unión adhesiva estructural Al-Al con base al ASTM D1002-10 y adhesivo epóxico 3M™ Scotch-Weld™ EC-2216 B/A

En la Figura 5 se muestra la vista lateral de la unión adhesiva y se observa el espesor del adhesivo de espesor de 0.5 mm de espesor.

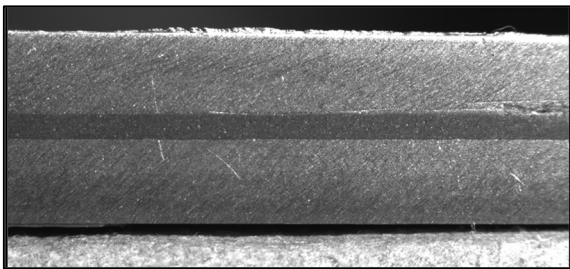


Figura 5. Vista lateral de la línea de adhesión y la zona de traslape con espesores controlados

En la Figura 6 se muestra una secuencia de lazos de histéresis en bajo ciclaje de una probeta de unión adhesiva.

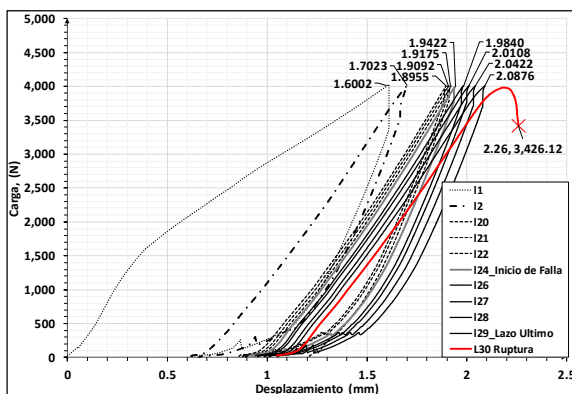


Figura 6. Lazos de histéresis F vs D experimentados en probeta de unión adhesiva

Mediante la curva V- Δ se obtuvieron la energía almacenada (W_s), la energía disipada (W_d) y por último la energía residual (W_r) como se muestra la Figura 7.

A partir de los lazos de histéresis, se obtuvo la variación de las energías de la unión adhesiva normalizadas respecto al número de ciclos ($r_c = \text{Ciclo} / \text{Número Máximo de Ciclos}$) y la evolución de las energías de la probeta normalizadas respecto a la energía máxima, $R = W_{s,d,r} / W_{max}$ (Figura 8). El área bajo la curva V- $\square$ tiene unidades de Joules (J).

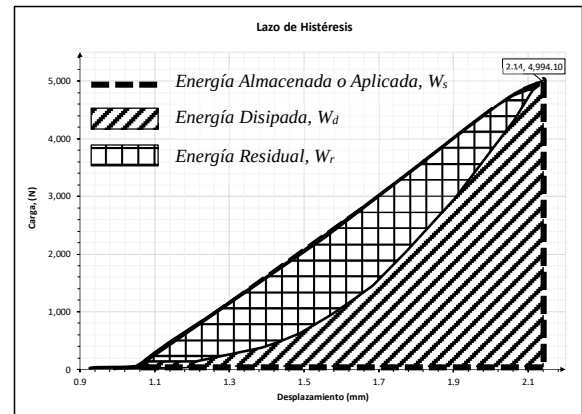


Figura 7. Energías involucradas durante cada ciclo de carga cortante

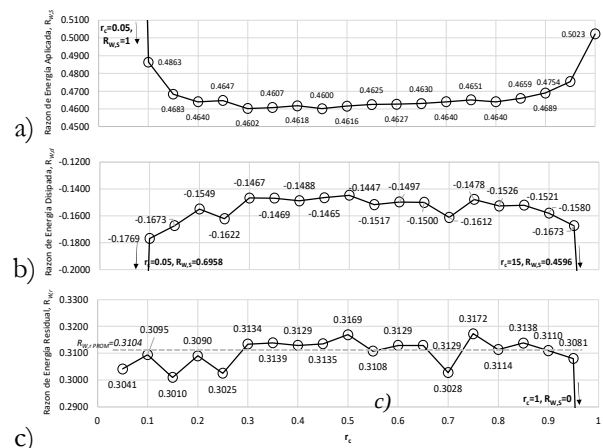


Figura 8. a) Razón de Energía Aplicada (R_{ws}), b) Energía Disipada (R_{wd}) y c) Energía Residual (R_{wr})

5. DISCUSIÓN

Implementando un sistema de medición de mediante celdas de carga, extensómetros y medidores de deformación, es posible medir lazos de histéresis en sistemas de uniones adhesivas simples. En una primera etapa, es posible monitorear la condición de resistencia a las cargas cíclicas de la unión estructural al menos en condiciones de laboratorio y obtener la variación de la energía disipada.

Durante la prueba de carga cíclica experimental, se observó que, durante los primeros ciclos de carga o razón de ciclaje, $r_c < 0.5$, los lazos disminuyen

continuamente su área, lo cual corresponde con una disminución de la energía almacenada (R_{WS}) (Figura 6.a) y la energía disipada (R_{Wd}) (Figura 6.b) mientras que la energía residual (R_{Wr}) permanece aproximadamente constante (Figura 6.c). Se observa que el área de los lazos disminuye progresivamente hasta el lazo número 23 y, a partir del lazo 24 el área vuelve a incrementar hasta el ciclo 30 de ruptura.

El incremento progresivo de la energía aplicada (R_{WS}) o decremento progresivo de la energía disipada (R_{Wd}) sugiere la existencia de otros mecanismos de disipación de energía relacionados con la apertura y cierre de la fractura o falla interna en el interior del cuerpo del adhesivo o en las interfaces. Este patrón de disminución y posterior aumento del área del lazo o energía disipada puede ofrecer valiosa información para la detección de daños durante la vida de uniones adhesivas.

6. CONCLUSIÓN

Los sistemas de monitoreo de integridad estructural se encuentran al alcance de poder ser implementados a un bajo coste y con altos estándares de confiabilidad en comparación con los que se tenían en décadas anteriores, pudiendo ser implementados a escala de laboratorio, o para monitoreo de estructuras o maquinas a distancia.

La medición de cambios en propiedades mecánicas como la elasticidad y frecuencias y formas modales han mostrado cierto grado de sensibilidad para ser utilizados en la detección de daños, sin embargo, el amortiguamiento interno o amortiguamiento por histéresis muestra un potencial como parámetro de medición de mayor sensibilidad. No obstante, no existen patrones predeterminados de la forma de disipación de energía de las uniones adhesivas debido a los múltiples mecanismos internos que afectan en diferentes escalas durante la generación de daños.

La integración de un sistema de adquisición de datos para medición de amortiguamiento por histéresis puede realizarse como un sistema de monitoreo de fuerza y desplazamiento mediante celdas de carga y extensómetros en el punto de aplicación de la carga o mediante sistemas de galgas extensométricas y la generación de cargas cíclicas mediante máquinas universales con carga cíclica o dispositivos de generación de carga armónica mediante motores desbalanceados aplicada al componente estructural

deseado. Realizando la medición de los lazos de histéresis es factible obtener la variación de las energías disipadas como indicador de daño en las uniones adhesivas estructurales.

REFERENCIAS

- Hassani, V., Tjahjowidodo, T., & Do, T. (2014). A survey on hysteresis modeling, identification and control. *Mechanical Systems and Signal Processing*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.04.012>
- 3M Company. (2017). Safety Data Sheet - 3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive EC-2216 B/A Gray.
- Amafabia, D.-a., Montalvão, D., David-West, O., & Haritos, G. (2017). A Review of Structural Health Monitoring Techniques as Applied to Composite Structures. *Structural Durability & Health Monitoring*, 1(2), 91-147. doi:<https://doi.org/10.3970/sdhm.2017.011.091>
- ASTM International. (2010). ASTM D1002-10 Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal). West Conshohocken, PA 19428-2959. United States: ASTM International.
- Banks, H. T., & Inman, D. J. (1989). *On Damping Mechanisms in Beams*. NASA Langley Research Center, Institute for Computer Applications in Science and Engineering. Obtenido de <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19890020639/downloads/19890020639.pdf>
- Braun, S., Ewins, D., & Rao, S. (Edits.). (2002). *Encyclopedia of Vibration*. Academic Press. doi:10.1006/rwvb.2001
- Diccionario de la Lengua Española*. (s.f.). (Real Academia Española) Recuperado el 11 de 27 de 2022, de <https://dle.rae.es/hist%C3%A9resis>
- Doebeling, S., Farrar, C., Prime, M., & Shevitz, D. (1996). *Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review*. New Mexico: Los Alamos National Laboratory.
- Elattar, H., Elminir, H., & Riad, A. (2016). Prognostics: a literature review. *Complex Intell. Syst.*, 2, 125–154. doi:10.1007/s40747-016-0019-3
- Ewing, J. (1885). Experimental researches in magnetism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 523 - 640. doi:<https://doi.org/10.1098/rstl.1885.001>

- Farrar, C., & Sohn, H. (2000). Pattern recognition for Structural Health Monitoring. *Workshop on Mitigation of Earthquake Disaster by Advanced Technologies*. Las Vegas, NV, Estados Unidos.
- Glisic, B. (20 de 03 de 2022). Concise Historic Overview of Strain Sensors Used in the Monitoring of Civil Structures: The First One Hundred Years. *Sensors*, 22(2397). doi:<https://doi.org/10.3390/s22062397>
- Goodman, L. (2002). Chapter 36. Material Damping and Slip Damping. En C. Harris, & A. Piersol (Edits.), *Harris' Shock and Vibration Handbook* (Fifth Edition ed., págs. 36.1-36.30). Mc Graw Hill.
- Ismail, M., Ikhoulane, F., & Rodellar, J. (2009). The Hysteresis Bouc-Wen Model, a Survey. *Arch Comput Methods Eng*, 161–188. doi:10.1007/s11831-009-9031-8
- Kandl, M., & Groghan, D. (March de 1980). U.S. Navy, LM2500 Gas Turbine Condition Monitoring Development Experience. *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, 79665, V01BT02A064.
- Lesieutre, G. (2002). Damping in FE Models. En *Encyclopedia of Vibration* (págs. 321-388). London, UK: Academic Press.
- Macki, J., Nistri, P., & Zecca, P. (1993). Mathematical models for hysteresis. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 94-123.
- Padthe, A. K., Chaturvedi, N. A., Bernstein, D. S., Bhat, S. P., & Waas, A. M. (2008). Feedback stabilization of snap-through buckling in a preloaded two-bar linkage with hysteresis. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 43, 277–291. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2007.12.010
- Panteliou, S., Chondros, T., Argyrakis, V., & Dimarogonas, A. (2001). Damping factor as an indicator of crack severity. *Journal of Sound and Vibration*, 235-245. doi:<https://doi.org/10.1006/jsvi.2000.3299>
- Zhang, J., Perez, R. J., & Lavernia, E. J. (1993). Documentation of damping capacity of metallic, ceramic and metal-matrix composite materials. *Journal of Materials Science*, 28, 2395–2404

Ciencia ciudadana para la gestión de ruido en la ciudad: mapeo de molestia

Citizen science for noise management in the city: nuisance mapping

Ciência cidadã para a gestão do ruído na cidade: mapeamento de incômodos

Dulce Rosario Ponce Patrón¹ ORCID 0000-0002-9523-4592, Verónica Arroyo Pedroza² ORCID 0000-0002-3656-3361, Laura Angélica Lancón Rivera¹ ORCID 0000-0001-9403-7186, Silvia Gabriela García Martínez¹ ORCID 0000-0001-8759-3942, Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón³ 0000-0001-9293-0843

¹Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A)

²Departamento de Evaluación del Diseño en el Tiempo de la UAM-A

³Departamento de Electrónica de la UAM-A

Correo de contacto: drpp@azc.uam.mx

Resumen

Se presenta la aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©, la cual compila la molestia ciudadana y genera mapas por molestia de ruido en colaboración con la ciudadanía, a partir de un enfoque de ciencia ciudadana, que facilita la recolección de data y contribuye de diversas maneras al desarrollo de conocimiento en el tema. El experimento se plantea a través de un grupo de enfoque conformado por estudiantes de la licenciatura en arquitectura que, utilizando la aplicación móvil, realizaron recorridos en la zona del Centro Histórico de la alcaldía Azcapotzalco, en la Ciudad de México. El estudio permitió, por una parte, sensibilizar a los participantes sobre el tema del ruido y concientizar a futuros arquitectos sobre la percepción del espacio público y su posterior toma de decisiones de diseño. Por otra parte, se obtuvieron datos geolocalizados que generan mapas de molestia por ruido y compilan estadísticamente la situación percibida.

Palabras clave: Ciencia ciudadana, ruido ambiental, aplicaciones móviles y colaboración colectiva

Abstract

The mobile application HUBBUB, Alerta ruido©, is presented, which compiles citizen annoyance and generates noise annoyance maps in collaboration with citizens, based on a citizen science approach, which enables the collection of data and contributes in various ways to the development of knowledge on the subject. The experiment is proposed through a focus group made up of architecture students who, using the mobile application, conducted tours in the Historic Center area of the Azcapotzalco municipality in Mexico City. The study allowed, on one hand, to raise awareness among the participants on the issue of noise and to make future architects aware of the perception of public space and their subsequent design decisions. On the other hand, geolocalized data was obtained to generate noise annoyance maps and statistically compile the perceived situation.

Keywords: Citizen science, environmental noise, mobile applications and crowdsourcing

Resumo

Apresenta-se o aplicativo móvel HUBBUB, Alerta Ruido©, que compila o desconforto da população e gera mapas sobre o incômodo por ruído em colaboração com colaboração dos cidadãos, a partir de uma abordagem de ciência cidadã, que facilita a coleta de dados e contribui de diversas maneiras para o desenvolvimento do conhecimento sobre o assunto. O experimento é proposto por meio de um grupo focal composto por estudantes de graduação em arquitetura que, utilizando o aplicativo móvel, realizaram percursos na área do Centro Histórico da prefeitura de Azcapotzalco, na Cidade do México. O estudo permitiu, por um lado, sensibilizar os participantes sobre a questão do ruído e conscientizar os futuros arquitetos sobre a percepção do espaço público e suas futuras escolhas na criação de projetos. Por outro lado, obtiveram-se dados geolocalizados que geram mapas de desconforto por ruído e compilam estatisticamente a situação percebida.

Palavras-chave: ciência cidadã, ambiente barulhento, aplicativos móveis e colaboração coletiva

PACS: 43.50.Rq, 43.50.Yw

1. INTRODUCCIÓN

Es a finales del siglo XX que el término de *Smart City* o Ciudad Inteligente deviene de la relación del avance tecnológico y el despliegue de todo tipo de herramientas digitales, que coadyuvan en la gestión de una ciudad e instrumentación tecnológica que genera bases de datos, mismos que son procesados por instancias que usan la información para la toma de decisiones enfocadas en política pública. En cuanto al concepto, no se cuestiona su utilidad, sin embargo, se hace necesario plantear la siguiente pregunta: ¿los países latinoamericanos están preparados para ser ciudades inteligentes?

El gobierno de la Ciudad de México informó que, en 2021 será la ciudad del mundo con más acceso a internet público, gratuito y abierto, por arriba de Moscú, Seúl y Tokio (Gob. CDMX, 2021). La mezcla de condiciones económicas, tecnológicas y sociales son las que establecen el que una ciudad con su infraestructura trascienda tecnológicamente, siendo la capital de México desigual y compleja, no solo desde un punto de vista económico, sino que esta disparidad también se observa en educación, salud, ingreso, entre otras (Paniagua, 2017). De tal manera que el objetivo de promover que una ciudad se convierta en inteligente será que la interconexión optimice la vida de las personas, así como, que invite a la población no conectada a beneficiarse de los logros sobre las políticas públicas.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU-Habitat, 2012), la región de América Latina y el Caribe está en su mayoría urbanizada, por lo que se estima que el 80 % de su población vive en ciudades, considerándose la zona más poblada a nivel mundial, tal estadística obliga a los gobiernos a promover “*un entorno social, tecnológico, ambiental e institucional propicio para el mejor desempeño de las actividades económicas y del bienestar social*” (Hernández, Morales y Rózga, 2021).

La planificación urbana requiere de la implementación de toma de decisiones acordes al crecimiento de estos centros económicos. La gobernanza deberá considerar la participación ciudadana dentro de las políticas públicas, lo que forzosamente cambia la estructura centralista de los gobiernos.

Comunicación y ciudadanía para la gestión pública, sería la medida óptima en tanto la tecnología digital, sigue avanzando en su desarrollo. Siendo los gobiernos quienes pensando en trabajar de la mano de la ciudadanía, debieran diseñar los instrumentos precisos

que motiven a la población a colaborar aportando datos en tiempo real sobre asuntos coyunturales para sus ciudades; transporte, gestión del medio ambiente, salud, entre otras, serían temas que en sinergia ciudadanos-gobierno reditúan en el aporte y recopilación de datos, lo que se traducirá en respuestas más precisas de las medidas gubernamentales, fomentando la democracia participativa y contribuyendo a mejorar la calidad de vida en la ciudad.

2. CIENCIA CIUDADANA

La Ciencia ciudadana es “*Trabajo científico realizado voluntariamente por miembros del público en general, a menudo en colaboración con o bajo la dirección de científicos profesionales e instituciones científicas*” (CONABIO, 2023).

Este tipo de trabajos buscan promover la participación entre la población, esta es una práctica que implica un modo de actuación confiriendo competencia a la ciudadanía sobre los temas relevantes que afectan su entorno. Quienes tienen el interés de mejorar su medio ambiente o participar con la ciencia en temas específicos, podrán hacerlo de manera activa, no requiriendo de un conocimiento especializado, solo voluntad de involucrarse en proyectos afines a sus intereses o de beneficio comunitario. Esto, de tal manera que la participación ciudadana se lleve a cabo a partir de instrumentos previamente diseñados por científicos, bajo una serie de principios básicos como la observación y clasificación para generar datos fiables que más adelante serán analizados e interpretados.

La ciencia ciudadana se encuentra al alcance de un gran porcentaje de la población por medio de la telefonía móvil, que ha abierto posibilidades inéditas de compartir datos en tiempo real a través de aplicaciones diseñadas con objetivos particulares (Jabbour, 2018). Una de las entidades federativas con mayor número de personas usuarias de teléfonos inteligentes con respecto a la población nacional total, es la Ciudad de México con usuarios a partir de seis años que representan el 88.4 % (INEGI, 2022).

Modelos de Ciencia ciudadana

Según Bonney, Ballard, Jordan, McCallie, Phillips, Shirk y Wildermar (2009, p.11), se identifican tres categorías en las que la ciudadanía se puede involucrar con proyectos de este tipo y se detallan a continuación:

- Proyectos contributivos: generalmente diseñados por científicos y donde principalmente ciudadanos aportan datos.
- Proyectos de colaboración: habitualmente están creados por científicos, y los participantes contribuyen con datos, pero también pueden ayudar a refinar el diseño del proyecto, analizar datos o difundir hallazgos.
- Proyectos co-creados: propuestos por científicos y ciudadanos que trabajan juntos y donde, al menos, algunos participantes colaboran activamente en la mayoría o en todas las fases del proceso científico.

3. COLABORACIÓN COLECTIVA (CROWDSOURCING)

Cada día, los usuarios de dispositivos móviles utilizan más aplicaciones que les ayudan a mejorar su bienestar. De esta manera, conocen más sobre sí mismos y su entorno. La información derivada de los sensores y dispositivos móviles que pudiera considerarse “aislada”, es factible de ser recolectada e integrada por un servidor, ser procesada, y en conjunto crear la visión detallada de los datos. Existen diversas técnicas que recolectan información geoespacial entre las que destacan la detección participativa móvil (*Mobile crowdsensing* o *crowdsensing*) y la colaboración colectiva (*crowdsourcing*). Ambas basan su estructura en la captura de la información requerida a través de los dispositivos (y sus respectivos sensores) de los usuarios y ello alimenta las bases de datos, mismas que serán más robustas cuando el número de dispositivos o usuarios activos sea mayor.

En el primer caso, la detección participativa recolecta pasivamente la información de los sensores, es decir, no requiere intervención por parte del usuario. Ésta es procesada y resulta explicativa del problema de investigación, como se muestra en la Figura 1a y 1b. El uso común del *crowdsensing* es la creación de mapas de tráfico, por ejemplo, el trazo de una ruta que depende de sensores urbanos de tráfico vehicular o la velocidad media del conductor, entre otras cosas.

Si se busca la intervención activa del usuario, se utiliza el término de *crowdsourcing*. En este caso, el problema a investigar será segmentado en diversos elementos que lo resuelven y asignados como “tareas” para el usuario. Por ejemplo, continuando con los sistemas de tráfico vehicular, la ubicación de controles policiales, vías

bloqueadas, accidentes, entre otros, solo podrá ser identificada por los usuarios que decidan compartir la información. Ambas herramientas muestran diferentes perspectivas de un problema y, en situaciones como la anterior, consiguen ser complementarias.



Figura 1. Comparación de técnicas de recolección de la información: a) *Crowdsensing* y b) *Crowdsourcing*. Fuente: Adaptado de O'mahony, 2018.

4. RUIDO AMBIENTAL

En la ciudad, las dinámicas de la población generan ruidos comunes y de baja aportación de información que se considera contaminación por ruido o ruido ambiental. Algunos de estos comportamientos son esporádicos, pero otros se identifican en su temporalidad (horarios, semanas, meses o años). Ello ha obligado a definir parámetros o herramientas que caracterizan dichas dinámicas haciendo uso de indicadores representativos a la audición humana, y para determinar la exposición nociva se consideran diversos métodos, como las encuestas de opinión, la estadística de distribución del ruido, indicadores de distribución temporal (t), el nivel sonoro, y mapas de ruido.

La evaluación subjetiva del ruido se ha realizado por medio de encuestas de opinión estandarizadas (EPA, 2003), utilizando usualmente el término “molestia”; como la perturbación o malestar que el ruido produce en una persona. Aunque el término es abstracto, la sensación de molestia está asociada a la sensibilidad del grupo o usuarios, la actividad que realiza y su grado de enfoque requerido y es una de las consecuencias primarias de la exposición al ruido (sonido nocivo) que se manifiestan con mayor desenvoltura. El usuario puede no saber las causas o consecuencias, pero identifica que se encuentra en un ambiente nocivo.

La exposición al ruido ambiental está relacionada con disturbios en: la comunicación, la concentración, el sueño y emocionales. Dichas afectaciones se revelan en periodos cortos de tiempo como la irritabilidad,

falta de concentración, fatiga o ira, o a mediano o largo plazo como complicaciones gastrointestinales, hipoacusia o efectos cardiovasculares.

El monitoreo del ruido ambiental por métodos cuantitativos está orientado a conocer el continuo sonoro en diferentes escalas de la ciudad a lo largo del día y a fin de caracterizar la exposición promedio a la que está expuesta la ciudadanía en una relación de dosis-respuesta. Ello permite identificar las zonas geográficas conflictivas y gestionar a partir de la planeación los objetivos de calidad acústica y definir acciones para alcanzarlos.

El indicador más común en la caracterización del ruido ambiental es el nivel sonoro continuo equivalente (L_{Aeq}) en ponderación A, que se utiliza para conocer la influencia del nivel de presión sonora en un periodo de tiempo y área determinados o que incide sobre una edificación. El L_{Aeq} se desarrolla matemáticamente como el nivel eficaz de sonido en el intervalo de medición a partir de la expresión [1].

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \left[\frac{1}{T} \left(\sum_i^n t_i \cdot 10^{(0.1 \cdot L_{AE(i)})} \right) \right] \text{ (dBA)} \quad [1]$$

L_{Aeq} = Nivel sonoro equivalente (dBA)

L_{AE} = Nivel sonoro equivalente en 1 unidad de tiempo (dBA)

T = Tiempo total de medición (s)

t_i = Tiempo que está presente el nivel para L_{AE}

El tiempo de integración por un intervalo horario de interés también puede variar dependiendo de las necesidades del estudio. Por ejemplo, si es necesario conocer el impacto que tiene el sonido en una vivienda en horario nocturno de 22:00 h a 6:00 h, el tiempo de integración (T) será de 8 h, basándose en la misma fórmula. Los intervalos horarios más utilizados en mapas de ruido y normativas son: el nivel sonoro continuo equivalente día (L_{day})³, el nivel sonoro continuo equivalente tarde ($L_{evening}$), y el nivel sonoro continuo equivalente noche (L_{night})⁴. El L_{Aeq} se utiliza porque es flexible y permite evaluar los diversos flujos urbanos y sus necesidades. En México, de acuerdo con la norma NOM-081-SEMARNAT-1994 (D.O.F. 2013) el nivel de exposición de fuentes fijas indica que en horarios de 22:00 a 06:00 h (L_{night}) el límite máximo permisible será de 50 dBA en zonas residenciales y en el periodo diurno de 06:00 a 22:00 h (L_{day}) el límite máximo será de 65 dBA.

5. APLICACIONES MÓVILES PARA RUIDO AMBIENTAL

La creación de mapas de ruido debe ser representativa de las dinámicas de la ciudad, un mapa de estas características requiere abarcar grandes escalas y densidades poblacionales. Se utilizan diversos métodos de toma de datos, tales como la caracterización de los flujos de tráfico vehicular, aéreos o de trenes en periodos de tiempo determinados para su posterior modelización. Éstos se basan en algoritmos de cálculo que predicen o modelan la intensidad sonora y el comportamiento de la movilidad en la ciudad. Aunque, debido a la complejidad de los modelos, se suele simplificar y en bastantes casos la información está incompleta. Otras metodologías se basan en mediciones con sonómetros y equipo especializado, realizadas en sitio que ‘normalizan’ la intensidad sonora en el punto geográfico tomado. Sin embargo, los altos costes de tiempo, equipo y personal especializado para la actualización y diversificación de los mapas de ruido obstaculizan el acceso a la información y la modernización de políticas que solventen la problemática actual.

En años recientes, la tecnología de sensores ha crecido significativamente, mejorando el desempeño con costes menores; un ejemplo de ello es su uso en los dispositivos móviles, en los que además del uso regular, diversas aplicaciones móviles han aprovechado para generar y mostrar al usuario, datos de desempeño como de salud, finanzas, movilidad entre otros. Ello abre la posibilidad de construir bases de datos de poblaciones determinadas en microescala, mesoescala o macroescala.

Entre la variedad de opciones, aplicaciones móviles de medición del sonido con fines recreativos y profesionales se han desarrollado haciendo uso del micrófono interno de los dispositivos, y aunque difícilmente suplen a un micrófono de un sonómetro de medición de Clase 1, diferentes investigaciones muestran que los micrófonos de los dispositivos móviles pueden ser compatibles con los requerimientos para el análisis del ruido ambiental (Piacut et al., 2019). Algunos de estos alcanzan una precisión equivalente a un sonómetro tipo 2 (Rozzi et al., 2022) (Quintero, Balastegui y Romeu, 2019), en la mayoría de los casos se considera ± 5 dB de incertidumbre (Padilla, Machuca e Ibarra, 2022), y

³ de 7:00 a 19:00 h, con tiempo de integración de 12 h,

⁴ de 19:00 a 23:00 h, con un tiempo de integración de 4 h y

permiten la captura de los datos en un tiempo determinado; mediante el post procesamiento de la señal se obtiene el espectro del sonido aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT) y una ventana Hann a la señal de tiempo. Una vez obtenidos los niveles sonoros por bandas de frecuencia los valores promedios como el nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq} , dB), el uso de ponderación A (dBA) y los promedios temporales se obtienen de la forma usual. Ahora bien, en el mercado existe variedad de dispositivos en diversas gamas basados principalmente en dos sistemas operativos *Android* (OS) y *iOS* (*iPhone Operating System*), usualmente los segundos presentan un mejor desempeño. Otras investigaciones (Ákos, 2017) declaran que la precisión dependerá del micrófono del equipo, aunque dada la diversidad de dispositivos, sistemas operativos y la diferencia en la calidad de las marcas en el mercado, se consideraría necesaria la calibración para afinar la precisión que depende de factores como la calidad del Hardware y Software, del sistema operativo, las condiciones de medición y procedimientos internos, ya que habrá que hacer notar que el micrófono no está diseñado para medición, sino para preferenciar y optimizar la voz y la música (de la manera más económica posible), y en modelos recientes incluso se consideran sistema de enmascaramiento de los sonidos ‘lejanos’ al micrófono. En estos casos, Picaut et al. (2019) sugieren calibración del micrófono interno o el uso de micrófono externo de mejor calidad. A pesar de que este enfoque provee menor calidad en los datos de medición, posibilita abarcar mayor extensión territorial y cantidad de datos con menores costes en un marco de ciencia abierta (*Open science*).

De acuerdo con lo antes expuesto, los sensores en los dispositivos móviles permiten medir la intensidad sonora (dB) y las frecuencias (Hz) del ruido; es decir, muestra cómo suena y los tonos que lo componen. Existen métodos que a partir de un análisis de frecuencia pueden diferenciar entre ambientes sonoros específicos como el producido por tráfico vehicular, ruido de trenes o aviones. Sin embargo, el ruido comunitario, al ser producto de diferentes fuentes con espectros tan diversos, complejiza el post procesamiento.

Diversas aplicaciones móviles están enfocadas en la medición durante periodos de tiempo determinados del nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}) usualmente en ponderación A (L_{Aeq}), y algunos muestran análisis en bandas de frecuencia y comparten los datos

estadísticos por el usuario como: *Decibel th*, *Decibel X*, *Sound Meter*, *NoiseTube*, *Sound level meter*, *Spectral view analyzer*; pocos casos comparten además datos geoespaciales como la Calculadora de ruido de tránsito (Suárez y Arenas, 2018) y *Noise Capture* (Piacut et al., 2019). Y existen casos concretos que se enfocan en qué y cómo los usuarios perciben el ambiente sonoro limitándose a un indicador que no define, por ejemplo, el tipo de ruido, las condiciones de medición como posición del equipo o la sensación que la situación sonora le provee al usuario.

Zappatore, Longo y Bochicchio (2017) detallan diez alcances para las aplicaciones móviles, de los que se han seleccionado siete que definen el enfoque del diseño desde una perspectiva de *crowdsourcing*:

- a) Datos de localización: debe crear datos de ubicación georreferenciada.
- b) Definición de obtención de datos: el usuario debe ser consciente y decidir si la colaboración será activa (*crowdsourcing*) o la recolección de datos se realizará de forma autónoma en segundo plano (*crowdsensing*).
- c) Resolución y fiabilidad de los datos: la recolección de datos deberá ser clara y efectuarse con alta resolución para su posterior manipulación y gestión.
- d) Efectividad en la comunicación: la aplicación deberá presentar la información visual de manera asertiva, de forma que la visualización sea cómoda, los conceptos, claros y las acciones, intuitivas.
- e) Continuidad espaciotemporal: la recolección de datos no será limitada geográficamente y los horarios de recolección serán abiertos.
- f) Intervención del usuario: la aplicación deberá motivar la participación y la aportación del usuario en el conocimiento colectivo.
- g) Oportunidades de aprendizaje: la interfaz deberá proveer al usuario herramientas de conocimiento del ambiente que desarrollen su conciencia.

En la práctica, se encuentran iniciativas complementarias que cumplen con dichos requisitos como *Noise Planet* (DECIDE y UMRAE, 2023) en la que dos grupos de investigación han generado herramientas científicas didácticas para la valoración del ruido ambiental como *Noise Capture* (Piacut et al., 2019), que genera una medición de nivel sonoro,

valores estadísticos, valoración perceptual y produce mapas colaborativos de ruido ambiental (con énfasis en el nivel sonoro) mostrados tanto en la aplicación móvil como en la página *web community maps* (Bocher, Petit, Picaut, Fortin y Guillaume, 2017) y *OnoMap* basado en sistemas SIG (Bocher et al., 2016) con enfoque en ciencia abierta tanto a los datos como a la construcción de sus modelos didácticos. Además, mantiene campañas de instrucción y sensibilización conocidas como “*Noise Party*”, enfocadas en alumnado y comunidad en general.

Rozzi *et al.* (2022) identifican, además, la importancia de campañas de sensibilización y detección participativa en estas experiencias y define debilidades a considerar:

- a) Con relación al usuario, la retención es baja, ya que por una parte el uso suele ser inmediato y no siempre prioritario, ya que el peso de la aplicación en aparatos de baja capacidad minimiza la probabilidad de descarga o uso a largo plazo. Los participantes no capacitados pueden proveer datos poco valiosos si no se instruyen adecuadamente.
- b) Con relación a los datos, dada la poca retención hay mayor probabilidad que los datos correspondan a una minoría y existe riesgo de sesgo,
- c) Con relación a los dispositivos y sistemas operativos, habrá que poner atención en la evolución sistemática de la herramienta debido al rápido desarrollo tecnológico de los dispositivos móviles.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta metodológica de este trabajo se basa en el uso y evaluación de la aplicación móvil (app) HUBBUB, Alerta ruido©, como herramienta de mapeo y análisis del espacio urbano para alumnos de la licenciatura en arquitectura. Inicialmente, se seleccionó a un grupo de trabajo para realizar el análisis de molestia por ruido en la zona de estudio elegida. Después se instruyó a los participantes en el uso de la aplicación móvil y posteriormente, realizaron la visita del sitio y se les pidió identificar geográficamente los puntos en los que se genera molestia por ruido utilizando la app. Finalmente, a partir de una sesión grupal, se retroalimenta la percepción de los participantes, la comprensión de los conceptos presentados y del proceso de medición.

A. Aplicación móvil: HUBBUB, Alerta ruido©

HUBBUB, Alerta ruido© es una aplicación móvil (app) desarrollada para monitorear geográficamente la molestia por ruido en la ciudad. El diseño de la app está enfocado en que participantes no especializados en temas acústicos la utilicen de forma intuitiva, por lo cual, el diseño de la interfaz se planteó bajo tres principios: ser minimalista y claro, que la visualización de la información se basará en códigos cotidianos, y considerar (prioritario) al usuario y sus necesidades en el proceso de diseño (*user experience design, UX*). La interfaz se desarrolla en tres objetivos: obtener la información básica requerida para ‘alertar sobre el ruido’, la creación de un repositorio para la consulta ciudadana, y la estimulación y consolidación de la experiencia de usuario tanto individual como colectiva.

Protocolo de medición, permite al participante la generación de la alerta a partir de 6 pasos (Figura 2.1):

1. Grabar el ruido (10 s) y que el participante observe el nivel de presión sonora (dBA) al que está expuesto,
2. Determinar la geolocalización de la medición,
3. Determinar la posición del participante: ‘Exterior’ o ‘Interior’
4. Determinar la fuente de ruido: ‘Tráfico vehicular’, ‘Tráfico aéreo’, ‘Animales’, ‘Bocinas’, ‘Fiesta’, ‘Servicios’, ‘Industria’, ‘Maquinaria’ y ‘Otros’.
5. Determinar la percepción de molestia en tres categorías: ‘Poco molesto’, ‘Molesto’ y ‘Muy molesto’
6. Enviar la alerta, y corroborarlo.

Repositorio de consulta ciudadana, para consolidar la experiencia social, se genera un mapa colectivo que muestra la percepción de molestia por ruido en la ciudad. Los datos generados por los participantes son transmitidos a un servidor remoto en la UAM-A que se encarga del post procesamiento, registro y catalogación, retroalimentar a la app y al finalizar el día, integrar los datos (nuevos) en el Mapa colaborativo de molestia por ruido, que se observa en la figura 2.2. El mapa permite a los usuarios visualizar los datos que generados a partir de tres elementos de información:

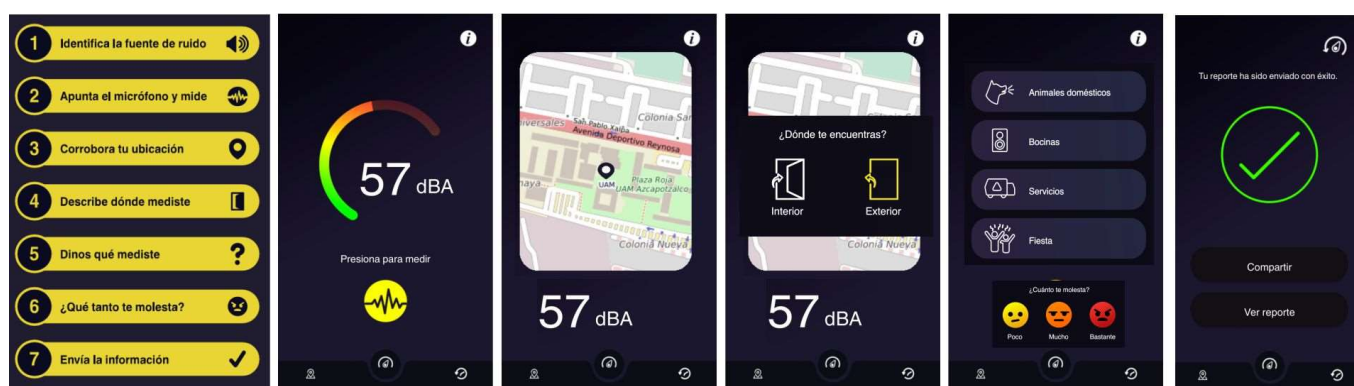


Figura 2.1. Guía de uso rápida: Pantalla de aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©: Medición. Fuente: propio.

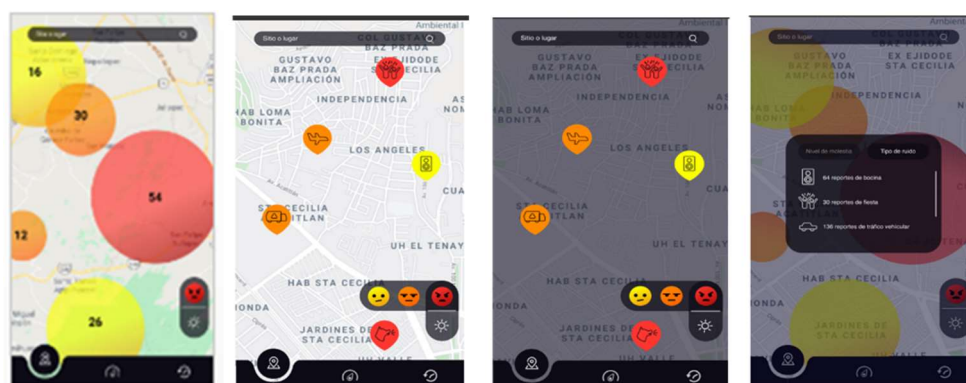


Figura 2.2. Pantalla de aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©: Mapa de molestia por ruido. Fuente: propio.

1. Ubicación georreferenciada estadística de los puntos de medición.
2. Grado de molestia utilizando el recurso visual de escala de color.
3. Horario de medición; se plantean dos temporalidades de análisis de acuerdo con la norma mexicana (D.O.F. 2013) día de 06:00 a 22:00 h y noche de 22:01 a 05:59 h

El mapa se muestra en diversas escalas, que se adaptan a dos tipos de pantalla:

Nivel urbano MANZANA (o microescala): acercamiento en el que se observan las mediciones puntuales, y una vez seleccionadas individualmente, se despliegan ventanas emergentes que muestran los datos de la medición. Y nivel urbano DISTRITO (meso escala o macroescala): visualización a nivel regional, colonia o zona en la que se observa el promedio de un grupo de mediciones, las cuales, al seleccionarse, despliega una ventana emergente que muestra el número de mediciones por molestia y por tipo de ruido.

Experiencia de usuario, se plantea la creación de una comunidad HUBBUB, Alerta ruido© que busca

estimular la creación de una cuenta personalizada eligiendo un avatar, e incentiva compartir las experiencias y mediciones en redes sociales. Además, se crea un repositorio personal con almacenamiento de reportes y estadísticas personales que muestran los niveles de molestia, el tipo de ruido que los generó y su ubicación geográfica y temporal.

B. Perfil de usuario

Bajo el enfoque de ciencia ciudadana, donde voluntariamente un grupo de personas colaboran para aportar información con relación a un proyecto, se contó con la participación de 28 estudiantes de la licenciatura en arquitectura inscritos en la materia de Espacio, Sonido y Arquitectura. La edad promedio de los estudiantes es de 21 años.

C. Caso de estudio

Se eligió la zona de estudio que se localiza en la alcaldía Azcapotzalco ubicada al norte-poniente de la Ciudad de México, la sección de estudio corresponde al Centro Histórico de la alcaldía (Fig. 3a). Las vialidades que la limitan corresponden a: Av. Aquiles Serdán, Eje 3 Norte Camarones, Av. 22 de febrero y Calle Castilla Oriente.

Según el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Azcapotzalco (SEDUVI, 2008), la mayor parte de la sección de estudio tiene asignado el uso de suelo habitacional mixto, que conlleva a la permisión de una gran cantidad de actividades en combinación con espacios para vivienda y en la zona central y norte se ubica equipamiento urbano de impacto local, como la Casa de la Cultura Azcapotzalco, el Jardín Parque Hidalgo, un conjunto religioso dominico con un atrio arbolado, le mercado de la alcaldía, el Parque Azcapotzalco, las oficinas de la Alcaldía, con su Plaza Cívica (Fernando Montes de Oca) y explanada. En las otras áreas señaladas como equipamiento se disponen escuelas a nivel básico y hospitales. Cabe señalar que en el área de estudio se genera además comercio informal, estas condiciones atraen a gran cantidad de personas a la zona (Fig. 3b).

D. Método del levantamiento de datos

Se designó una sesión para plantear los conceptos de evaluación y orientar a los participantes en el uso de la app; se sugirió la descarga en el momento y que comenzarán a utilizarla y descartar cualquier duda que

tuvieran al respecto. Después de familiarizarse con la app, en la sesión se puntualizó que la alerta mapea la molestia por ruido, y que el nivel sonoro (dBA) es únicamente un dato complementario; entendiendo al ruido como un sonido molesto o no deseado, que afecta las actividades diarias de las personas. Se plantearon los siguientes objetivos de la medición en sitio:

- Acudir en horarios diversos a lo largo del día,
- Recorrer todas las calles de la zona de estudio,
- Identificar y registrar ruidos ‘molestos’, y
- Realizar el registro fotográfico del sitio (Fig. 4).

Finalmente, a través de una estrategia reflexiva grupal con los participantes se retomaron las impresiones adquiridas tanto del ambiente sonoro del sitio, la percepción de la molestia con relación al ruido ambiental, y experiencias y aportaciones en la metodología e interfaz de la app.

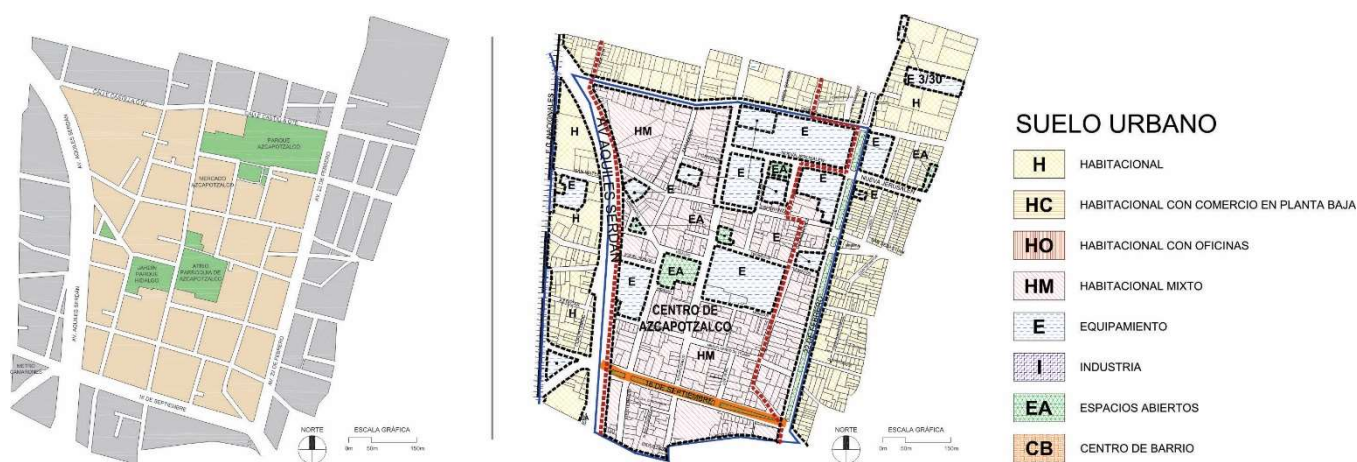


Figura 3. Centro Histórico, Alcaldía de Azcapotzalco: a) Zona de estudio (Fuente: propio) y b) Usos de suelo según el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Azcapotzalco (Adaptado de SEDUVI, 2008).



Figura 4. Registro fotográfico de la zona de estudio, Azcapotzalco, México. Fuente: propio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis subjetivo

A través de una estrategia reflexiva con los estudiantes, se retomaron impresiones, tales como:

- “No me había dado cuenta que si es molesto ese sonido al escucharlo mucho tiempo”
- “Pasaba por ahí, pero no escuchaba con atención lo que sucedía”
- “Hay espacios donde es muy tranquilo y se pierde el ruido del tráfico”
- “Fui en la tarde y en la noche y se percibe un ambiente diferente a pesar de estar en el mismo lugar”
- “Los sonidos del mercado me agradan”

7.2 Análisis cuantitativo

La base de datos del sistema de la app permite identificar los puntos que cada estudiante registró a través de la aplicación móvil. Se obtuvieron 310 datos de los cuales el 9.6 % se consideran inválidos debidos a la ubicación y valores de niveles sonoros menores a 30 dBA, y el 0.71 % de los datos fueron tomados por la noche, también descartados del análisis para no generar sesgo en las conclusiones. Finalmente, se consideraron 280 valores válidos de la alcaldía Azcapotzalco y la zona de estudio que corresponde principalmente a las colonias Centro de Azcapotzalco, los Reyes, Nueva el Rosario y San Mateo. Con respecto

a la ubicación de los usuarios el 70.0% de los datos corresponden a valores medidos al exterior en las zonas públicas y el 30.0% medidos al interior en zonas privadas.

La molestia con mayor frecuencia es ‘molesto’ y ‘poco molesto’ con 45.4 % y 41.4 % respectivamente, la percepción de ‘muy molesto’ siendo el 12.8% de los casos. El origen de ruido más común es por ‘tráfico vehicular’, ‘bocinas’ y ‘otros’ con presencia de 30.4 %, 30.4 % y 22.1% respectivamente. Los valores medidos de L_{Aeq} oscilan entre los 33 dBA y los 93 dBA y el promedio energético es de 51.8 dBA. En la figura 5a se muestra la distribución geográfica de los puntos de medición en la alcaldía Azcapotzalco y en la figura 5b se muestran los valores promedio de la ‘molestia’ y el nivel sonoro medio en la alcaldía con relación a la Ciudad de México.

Análisis de microescala: sitio de estudio

En el sitio de estudio ‘Centro de Azcapotzalco’ se obtuvieron 242 datos válidos correspondientes a las colonias: Centro de Azcapotzalco (92.9 %), Barrio los reyes (3.7 %), Colonia del maestro (0.8 %), Colonia San Marcos (1.2 %) y San Mateo (1.2 %). Con respecto a la ubicación y posición de los usuarios en la toma de datos, el 74.4 % de los datos corresponden a valores medidos al exterior en las zonas públicas (calle, parque y jardín) y el 25.6 % medidos al interior de los edificios públicos o en zonas privadas: mercado, centro cultural, iglesia, locales comerciales y/o casa-habitación. Como se mencionó previamente, los datos corresponden a mediciones diurnas de entre las 6:00 a las 22:00 h.



Figura 5. a) Mapa de molestia por ruido de alcaldía Azcapotzalco. Identifica la molestia a partir de puntos: amarillo- poco molesto, naranja-molesto y rojo- muy molesto. b) Mapa de molestia por ruido en alcaldías de la Ciudad de México. Fuente: Propio.

La percepción de molestia por ruido en el grupo aprecia que en el 47.1% de los sucesos se juzgan ‘Molesto’, el 41.3% se considera ‘Poco molesto’ y el 13.2% de los casos se percibe ‘Muy molesto’. Las

fuentes que originan el ruido en la zona de estudio son bocinas (33.1%), el tráfico vehicular (31.0%), otros (21.9%), fiesta (4.5%), servicios (4.1%), maquinaria (2.0%) e industria (2.0%). En la figura 6 muestra el

origen del ruido y se observa que los de mayor presencia son las bocinas, el tráfico y otros.

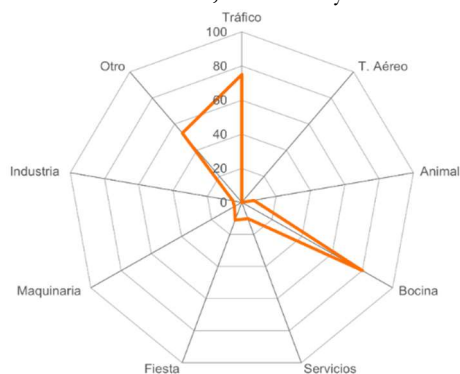


Figura 6. Origen de ruido ambiental por fuentes de ruido comunes en el Centro de Azcapotzalco. Fuente: propio.

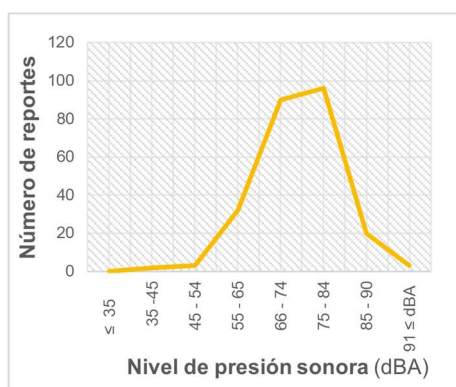


Figura 7. Valores de nivel de sonoro continuó equivalente en Ponderación A reportados en la zona de estudio. Fuente: propio.

Los valores medidos de nivel sonoro en ponderación A en la zona de estudio oscilan entre los 36 dBA y 93 dBA y presentan una media energética de 57.6 dBA. Si se asocia el número de reportes en rangos de 10 decibeles, como se muestra en la figura 5, el rango de 66 a 74 dBA equivale al 37.2 % de los datos obtenidos y el de 75-84 dBA a 39.7% siendo los de mayor frecuencia en el 76.9 % de los casos, los rangos superiores de 85-90 dBA y >91dBA corresponden a 8.3% y 1.2% de los casos, finalmente los valores que cumplen con la norma (D.O.F. 2013), es decir nivel de presión menor o igual a 65 dBA son el 15.2% de los casos; siendo el rango de 65-55 dBA con 13.2% de presencia como el de mayor representación.

Mapa colaborativo de molestia por ruido ambiental

A partir de los datos geolocalizados obtenidos se construyó el mapa de molestia por ruido en la zona de estudio, a fin de tener una mejor observación del problema. De acuerdo a la escala, se dividió en: nivel

alcaldía o macroescala (como se observa en la Fig. 5), nivel mesoescala y microescala (que se observan en la Fig. 9a y b). La mesoescala (Fig. 9a) muestra la geolocalización del nivel de molestia y la microescala (Fig. 9b) muestra la geolocalización del nivel de molestia por ruido, el origen del ruido y ubicación en la zona de estudio.

El mapa de mesoescala (Fig. 8a) muestra que la percepción de 'Muy molesto' (rojo) tiene mayor presencia en los cruces de calles como la Av. Azcapotzalco y Camarones, y a lo largo de la Av. Azcapotzalco principalmente en los puntos cercanos a zonas de recreación como el Jardín Parque Hidalgo y el atrio del conjunto religioso, al relacionarse con el mapa de microescala (Fig. 8b), se observa que la fuente que genera esta percepción es el tráfico vehicular. La figura 8a muestra además agrupación de molestia a lo largo de la Av. Azcapotzalco y equipamiento urbano como el Jardín Parque Hidalgo, el mercado Azcapotzalco y el Parque Azcapotzalco.

El Parque Azcapotzalco se muestra en la figura 9a, al interior del parque la fuente de molestia común es producto de las bocinas y en menor medida del tráfico vehicular. En el mercado de Azcapotzalco (Fig. 9b) las fuentes sonoras presentes en el exterior son bocinas, tráfico vehicular y otros, y al interior, bocinas, fiesta, industria y otros.

En el Jardín Parque Hidalgo, (Fig. 10) las vialidades secundarias que lo flanquean son la Av. Azcapotzalco y Av. Reforma presentan flujos vehiculares que son percibidos como 'Muy molesto', 'Molesto' y 'Poco molesto', es decir es incómodo en diferentes niveles a lo largo de las avenidas. Al interior del Jardín el uso se hace presente y los sonidos (bocina y animales) son percibidos como 'Poco molestos' a excepción de un evento particular que irrumpe con la dinámica: una 'fiesta'.

Finalmente, se concluye que a nivel macroescala los mapas de molestia permiten identificar zonas caóticas en las demarcaciones geográficas de estudio. Por otra parte, el nivel de meso y microescala identifican el grado de molestia y el origen del sonido. Para este caso, las fuentes de ruido comúnmente molestas fueron las bocinas y el tráfico vehicular. Inicialmente se sugiere la regulación normativa de las 'bocinas' ya sea emitiendo una regulación en el límite de nivel sonoro o prohibiéndoles. Con respecto al tráfico vehicular, se sugiere un estudio específico de los flujos vehiculares para evaluar las posibles soluciones para reducir la molestia.

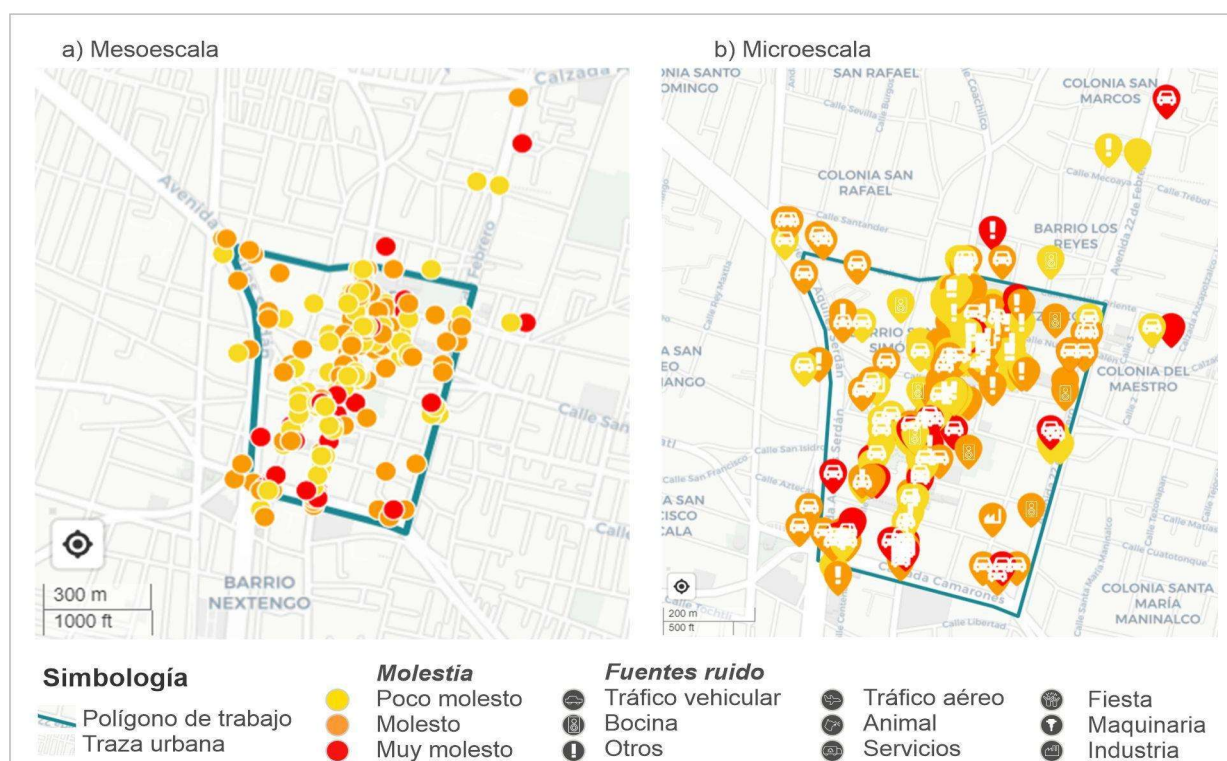


Figura 8. Mapa de molestia por ruido: zona de estudio en la alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

a) mesoescala b) microescala. Fuente: propio.

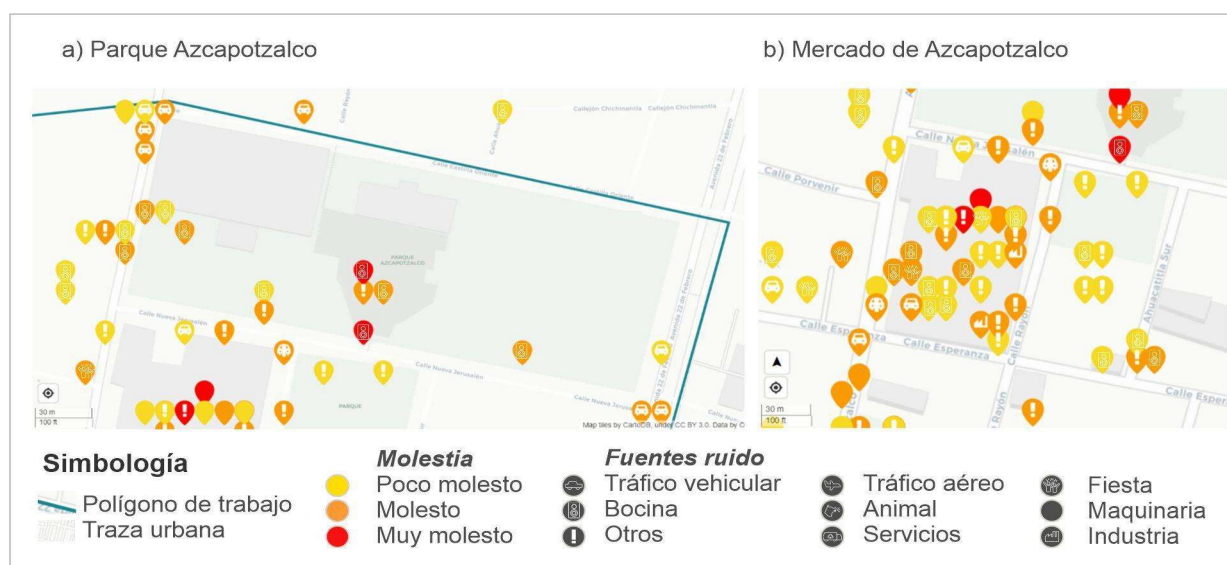


Figura 9. Mapa de molestia por ruido: a) Parque Azcapotzalco b) Mercado de Azcapotzalco. Fuente: propio

8. CONCLUSIONES

La conciencia ante el ruido necesita diversificar sus herramientas y comunicar la información recolectada de otras maneras accesibles a los lenguajes de comunicación actuales para incluir e informar tanto a la población como a los desarrolladores en problemáticas urbanas como el ruido ambiental. En este artículo se propone un método alternativo para el análisis cualitativo del ambiente sonoro urbano,

basado en la participación de usuarios no especializados que generan una alerta a partir de un dispositivo móvil.

En el proceso, los participantes fueron activos en el levantamiento de los datos y posterior a ello mostraron mayor interés y conciencia del entorno, concluyeron que es necesario considerar el sonido y/o ruido en los lineamientos de concepción de espacios urbanos y/o arquitectónicos.



Figura 10. Mapa de molestia por ruido: Jardín Parque Hidalgo y Av. Azcapotzalco. Fuente: propio.

Ahora bien, la aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©, generó la recolección de los datos de manera eficaz ya sea a partir de matrices de datos o mapeos. Las matrices de datos generan flexibilidad para la lectura, el análisis y post procesamiento de los datos. El análisis estadístico de los primeros datos genera diversas conclusiones: por una parte, muestra la necesidad de georeferenciar los *clusters* de datos con relación a la distribución geopolítica de las zonas de estudio para una mejor lectura y selección.

Por otra parte, el mapeo de molestia resulta complementario a la estadística en la toma de decisiones ya que visualmente facilita la ubicación de las fuentes de ruido y puntos geográficos conflictivos. Se sugiere posteriormente la evaluación del uso de la herramienta en diferentes etapas del proceso de análisis del sitio e identificar las lecturas de los participantes de los mapas de molestia y su influencia en la toma de decisiones de diseño.

Este escrito corresponde a una conferencia llevada a cabo en enero de 2023, en la Semana del Sonido, organizada por el Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú (INPAVAC) y auspiciada por la organización de *International Year of Sound 2020+*. Se han afinado aspectos puntuales para la publicación.

Los autores de este trabajo pertenecen al Cuerpo Académico 'Procesos de Enseñanza Aprendizaje de la Acústica Arquitectónica, Urbana y Ambiental' clave UAM-A-CA-154.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SES-DGESUI por el apoyo recibido en el marco del Programa de Desarrollo

Profesional Docente (PRODEP). Así mismo, se reconoce la participación de los estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura del grupo DAESA51 en la materia de Espacio, Sonido y Arquitectura, durante el trimestre 22-O de la UAM-A. Finalmente, se agrade a las y los editores y revisores de la revista ECOS para la publicación de este escrito.

REFERENCIAS

- Ákos, P. (2017). *Crowdsourced noise mapping. Can we use smartphones to measure noise pollution?* (tesis de maestría). Universidad de Oslo, Noruega.
- Bocher, E., Petit, G., Fortin, N., Picaut, J., Guillaume, G., y Palominos, S. (2016). OnoM@p: a Spatial DataInfrastructure dedicated to noise monitoring based on volunteers measurements. *PeerJPreprints*. doi.org/10.7287/peerj.preprints.2273v208
- Bocher, E., Petit, G., Picaut, J., Fortin, N. y Guillaume, G. (2017). Collaborative noise data collected from smartphones. *Data in Brief*, 14, pp. 498-503. doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.039
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., y Wilderman, C. (2009). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519688.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2023). ¿Qué es la Ciencia ciudadana? *Biodiversidad Mexicana*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/cienciaciudadana/que-es>

DECIDE (Lab-STICC - CNRS UMR 6285) y UMRAE Laboratory (Université Gustave Eiffel -

- formerly Ifsttar). (2023). *Noise Planet*. Revisado el 23 de abril de 2023 de <https://noise-planet.org/index.html>
- D.O.F. (2013) Norma Oficial Mexicana Nom-081-Semarnat-1994 Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. México.
- Environmental Protection Agency -EPA- (2003). *Environmental Noise Survey: Guidance Document*. Wexford, Ireland. Revisado: abril 2023: <https://www.leanbusinessireland.ie/includes/documents/EPA%20Environmental%20Noise%20Survey.pdf>
- Quintero, G., Balastegui, A., y Romeu, J. (2019). A low-cost noise measurement device for noise mapping based on mobile sampling. *Measurement*, 148(106894). doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106894.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2021). Somos la Ciudad más conectada del mundo. *Portal de Gobierno de la Ciudad de México*. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/somos-la-ciudad-mas-conectada-del-mundo/>
- Hernández, R., Morales, J. R., y Rózga, R. E. (2021). Gestión y recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) desde la perspectiva de la Ciudad Inteligente (CI): el caso de recolección de basura en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México. En J., Gasca y H. Hoffmann. *Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad*, 641-660. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma Metropolitana.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Encuesta Nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares (ENDUTIH) 2021*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH_21.pdf
- Jabbour, J. (2018). Ciencia ciudadana: recopilación masiva de datos agiliza la respuesta a desastres. *ONU programa para el medio ambiente*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/ciencia-ciudadana-recopilacion-masiva-de-datos-agiliza-la>
- ONU-Habitat. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de <https://unhabitat.org/estado-de-las-ciudades-de-america-latina-y-el-caribe-state-of-the-latin-america-and-the-caribbean>
- Padilla, A. L., Machuca, F. A., e Ibarra, D. (2022). Smartphones, a tool for noise monitoring and noise mapping: an overview. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 3521-3536. doi.org/10.1007/s13762-022-04240-6
- Paniagua, E. (2017). Ciudades inteligentes: la clave NO está en la tecnología. *El País*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de https://elpais.com/retina/2017/04/27/tendencias/1493283914_759472.html
- Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Aumond, P., y Guillaume, G. (2019). An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Building and Environment*, 148, 20-33. doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.049
- Rozzi, C.A., Frigerio, F., Balletti, L., Mattoni, S., Grasso, D., y Fogola, J. (2022). Indoor noise level measurements and subjective comfort: Feasibility of smartphone-based participatory experiments. *PLOS ONE*, 17(1): e0262835. doi.org/10.1371/journal.pone.0262835
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2008). *Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano*. Recuperado el 01 de abril de 2023 de <https://www.seduvi.cdmx.gob.mx/programas-delegacionales-de-desarrollo-urbano>
- Suárez, E. y Arenas, J. P. (2018). Educational App for Traffic Noise Mapping. *47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise)*.
- Zappatore, M., Longo, A., y Bochicchio, M. A. (2017). Crowd-sensing our Smart Cities: a Platform for Noise Monitoring and Acoustic Urban Planning. *Journal of Communications Software and Systems*, 13(2), 53-67.

Textiles y PET reciclados con cualidades absorbentes del sonido para el mejoramiento de diversos parámetros acústicos en un aula

Recycled textiles and PET with sound absorbing qualities for the improvement of various acoustic parameters in the classroom

Têxteis reciclados e PET com qualidades de absorção de som para a melhoria de vários parâmetros acústicos em sala de aula

Jesús Martínez Rangel¹ ORCID 0000-0002-7723-6551, Laura A. Lancón Rivera² ORCID 0000-0001-9403-7186, Ernesto R. Vázquez Cerón³ ORCID 0000-0001-9293-0843

¹ Estudiante de la maestría en Diseño Bioclimático de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A)

² Profesora Investigadora del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la UAM-A

³ Profesor Investigador del Departamento de Electrónica de la UAM-A

Correo de contacto: al2212800445@azc.uam.mx

Resumen

Existen en el mercado variedad de materiales reciclados con aplicaciones acústicas, que son utilizados para mejorar la calidad sonora de diversos recintos y evitar el uso de otros materiales comerciales que representan un riesgo a la salud. Sin embargo, en Latinoamérica, específicamente en México, aún son desconocidas por muchas empresas las cualidades acústicas que pueden tener los materiales reciclados que obtienen a través de diversos desechos. A través de un tubo de impedancias se ha cuantificado el coeficiente de absorción de dos materiales reciclados basados en fibras textiles y de botellas de PET respectivamente, adquiridos a través de dos empresas que destinan el uso de estos materiales para cuestiones ajenas al acondicionamiento acústico. Por medio de un *software* especializado se han realizado simulaciones acústicas aplicando dichos materiales reciclados para determinar el impacto de éstos en diversos parámetros acústicos como el tiempo de reverberación, inteligibilidad de la palabra, definición, entre otros. El uso de ambos materiales acercó a los diversos parámetros a valores aceptables en un aula, donde es primordial el entendimiento del habla, mejorando la calidad acústica del espacio.

Palabras clave: materiales absorbentes, materiales reciclados, caracterización acústica, calidad acústica, parámetros acústicos

Abstract

There are a variety of recycled materials on the market with acoustic applications, which are used to improve the acoustic quality of various rooms and avoid the use of other commercial materials that represent a health risk. However, in Latin America, specifically in Mexico, many companies are still unaware of the acoustic qualities that the recycled materials obtained through various wastes materials. Through an impedance tube, the absorption coefficient of two recycled materials based on textile fibers and PET bottles respectively, acquired through two companies that use these materials for purposes other than acoustic conditioning, has been quantified. Through specialized software, acoustic simulations have been carried out using these recycled materials to determine their impact on various acoustic parameters such as reverberation time, speech intelligibility, definition, among others. The use of both materials brought the various parameters closer to acceptable values in a classroom, where speech understanding is paramount, improving the acoustic quality of the space.

Keywords: absorbent materials, recycled materials, acoustic characterization, acoustic quality, acoustic parameters

Resumo

Existem no mercado diversos materiais reciclados com aplicações acústicas, que são utilizados para melhorar a qualidade sonora de diversos locais e evitar o uso de outros materiais comerciais que representam risco à saúde. No entanto, na América Latina, especificamente no México, muitas empresas ainda desconhecem as qualidades acústicas que podem ter os materiais reciclados obtidos através de diversos resíduos. Por meio de um tubo de impedância, foi quantificado o coeficiente de absorção de dois materiais reciclados à base de fibras têxteis e garrafas PET respectivamente, adquiridos por meio de duas empresas que destinam o uso desses materiais para questões alheias ao condicionamento acústico. Por meio de software especializado, foram realizadas simulações acústicas aplicando os referidos materiais reciclados para determinar seu impacto em vários parâmetros acústicos, como tempo de reverberação, inteligibilidade de fala, definição, entre outros. A utilização de ambos os materiais aproximou os vários parâmetros de valores aceitáveis numa sala de aula, onde a compreensão da fala é primordial, melhorando a qualidade acústica do espaço.

Palavras-chave: materiais absorventes, materiais reciclados, caracterização acústica, qualidade acústica, parâmetros acústicos

PACS: 43.55.Ev

1. INTRODUCCIÓN

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.) en los 501 centros de acopio localizados en diferentes regiones del país, la mayoría ubicados en la Ciudad de México, se reciben todo tipo de materiales para su separación, clasificación y en algunos casos para su reciclaje o reúso. Datos del 2018 indican que entre los materiales que reciben se encuentran el papel, cartón, eléctricos, electrónicos, vidrio y PET (Polietileno Teraftalato) y de éstos sólo un porcentaje puede separarse. Cabe señalar que en la Ciudad de México es donde existe mayor recolección de residuos, seguido de su zona metropolitana y en orden descendente Jalisco, Veracruz, Nuevo León, Guanajuato y Puebla.

Desde la perspectiva de la economía circular, el reciclaje representa uno de los últimos procesos deseables para un material u objeto, ya que éste debería primero buscar la forma de dársele mantenimiento, en otro caso, buscar la forma de reutilizarse, o sino de restaurarlo o remanufacturarlo (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Sin embargo, se recurre al reciclaje de desechos, puesto que en México y en otros países se les puede encontrar desechados a cielo abierto en grandes concentraciones.

Debido a que este trabajo se centra en muestras de PET y fibras textiles, se ahondará en algunos datos relacionados a éstos. Por ejemplo, en un estudio de plásticos llevado a cabo por la Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C. (ANIPAC, 2023.), se señaló que existen 363 empresas a nivel nacional que reciclan algún tipo de plástico, siendo el polietileno (51.2 %) el que más se recicla, seguido del PET (22.1%), posteriormente el polipropileno (18.2 %), el PVC (Policloruro de Vinilo) con 2.1 %, el poliestireno (1.8 %) y otros plásticos representando el 4.6 %.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2016), señala que México es líder mundial en el reciclaje de PET, ya que se recuperan el 60.3 % de los envases, superando a Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea con 42 %, 31 % y 25 % respectivamente; sin embargo, es importante recalcar que México es a su vez uno de los principales consumidores de este plástico (DGCS, 2021).

Con relación al reciclaje de textiles, el Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (CEMDA, 2019), advierten que el sector moda y textil requieren un enfoque de economía circular, ya que es uno de los

sectores que desaprovechan grandes cantidades de recursos económicos, materiales y naturales, además de impactar negativamente al medio ambiente debido a sus procesos altamente contaminantes, así mismo, advirtió que en México se reciclan solo el 5 % de los textiles desechados, debido a falta de innovación y costos en la producción, mientras que en Alemania se alcanza un 65 %.

En México existen muchos fabricantes que obtienen nuevos materiales a partir de desechos reciclables, que desconocen las ventajas que sus productos podrían aportar para alcanzar un confort acústico según el uso del espacio.

Para esta investigación, se han caracterizado a través de un tubo de impedancias, dos materiales de dos distintas empresas que destinan su materia prima para cuestiones ajenas a aplicaciones acústicas.

A través del *software* especializado CATT-Acoustic, se han considerado dichos coeficientes y se han realizado simulaciones de diversos parámetros acústicos, aplicados a espacios para el habla, específicamente aulas. Así mismo, se discutirán las mejoras que estos materiales pueden aportar para conseguir un adecuado confort acústico y calidad sonora y a su vez, promover con los fabricantes la caracterización acústica de sus productos.

2. CALIDAD Y CONFORT ACÚSTICO EN RECINTOS

Indudablemente, una adecuada calidad acústica está relacionada con confort acústico, término en el cual se involucran distintos aspectos a considerar, ya que no únicamente está relacionado con la calidad del sonido en el espacio, sino también con la percepción sonora que el receptor tenga dentro o fuera de un recinto y que sea aceptable en términos de presión sonora y calidad cuando se está realizando una actividad en específico y no suponga un impedimento para su realización. Así mismo, niveles sonoros elevados por lo general son poco confortables, así como sonidos con un contenido de frecuencias altas y medias, a diferencia de los compuestos por frecuencias medias y bajas. En este sentido, el confort acústico es un tanto subjetivo, ya que la percepción humana queda implícita (Barti, 2017).

Un adecuado diseño sonoro reducirá en gran medida una mala calidad acústica, la cual, al ser buena, puede potenciar el confort, la habitabilidad y la funcionalidad del recinto (Avilés y Perea, 2017,

p.495). Es por ello importante que los arquitectos o responsables de la concepción de los espacios arquitectónicos, cuenten con conocimientos relacionados con la acústica arquitectónica en todas sus áreas.

El no considerar un criterio acústico en la concepción de espacios arquitectónicos, es un común denominador aún en muchos países, ya que es un tema que en numerosas ocasiones se resuelve una vez que el espacio ya está construido o en una etapa posterior a la de diseño y comienzan a surgir los evidentes problemas acústicos del recinto en cuestión (Ipinza, 2015).

Si en los espacios no existen condiciones acústicas favorables, en especial en recintos donde predominan sonidos provenientes del habla, se pueden esperar diversos efectos adversos, por ejemplo, los niños son los más susceptibles en tener un bajo rendimiento académico, situación que está estrechamente relacionada con los elevados niveles de ruido y altos tiempos de reverberación que se tienen al interior del salón de clases, ya que su capacidad de escucha ante un ambiente acústicamente caótico es menos efectivo que la de un adulto, puesto que hasta la adolescencia es cuando esta capacidad comienza a ser buena, a pesar de las condiciones a las que se está expuesto (Klatte, Lachmann, y Mies, 2010).

Aunado a lo anterior, se enfatiza en que el confort integral en salones de clases y su relación con el rendimiento cognitivo del alumnado, está asociado a diversos factores, como pueden ser los ambientales, los relacionados a las condiciones físicas del aula, los recursos con los que se dispone y la relación entre el docente con los alumnos. Específicamente se hace hincapié en que los procesos cognitivos que más resultan afectados ante situaciones asociadas al ruido, son la atención y la memoria, concretamente la de corto plazo. El ruido afecta la capacidad para resolver problemas complejos y de manera rápida, además de llegar a generar estados de estrés e irritabilidad, afectando nuevamente la concentración (Zapata, C. M., et al., 2018, p.73-77 y 138-146).

A través de una revisión bibliográfica afín con la calidad acústica en aulas escolares, se indican las causas de esta carencia de confort acústico, la cual está relacionada en su mayoría con la ausencia de materiales absorbentes para reducir el tiempo de reverberación y por ende para obtener una mejor claridad en el mensaje oral recibido; seguido del ruido generado al exterior del recinto, por ejemplo de

locales contiguos o del ambiente exterior; posteriormente señalan las cuestiones relacionadas con las características de diseño arquitectónico propio de los espacios; también al ruido interno originado por los ocupantes y/u otros elementos internos del local, siendo los más comunes los proyectores y sistemas de ventilación; y finalmente, a la ubicación del recinto con relación a su contexto, lo cual hace referencia a que puede estar situado cerca de una zona industrial generadora de ruido o contigua a vialidades con gran aforo vehicular, por mencionar algunos (Durán, 2021).

3. AULAS Y PARÁMETROS DE CALIDAD ACÚSTICA APLICABLES

En estos espacios, se espera que los niveles de confort relacionados con aislamiento y acondicionamiento acústico estén controlados y ofrezcan una adecuada calidad sonora que favorezca el entendimiento del mensaje oral que reciben los presentes para una correcta comprensión del mismo.

En México, por ejemplo, el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, ha trabajado en normas que determinan requerimientos generales para el diseño de este tipo de espacios, donde señalan que las condiciones acústicas son de suma importancia en el proceso de enseñanza aprendizaje, donde el escuchar nítidamente marca la diferencia entre la comprensión o la incomprensión del mensaje recibido (INIFED, 2021).

Una adecuada calidad acústica y por ende confort sonoro en los espacios se puede evaluar a partir de ciertos parámetros, resaltando en primera instancia el tiempo de reverberación (TR), el cual puede definirse como la persistencia del sonido en el espacio una vez que la fuente sonora cesó; sin embargo, tiene una definición un tanto más técnica y que debe tomarse en cuenta al momento de realizar mediciones en el sitio. Dicha definición, establece que es el tiempo necesario en segundos para que un sonido impulsivo (estallido) o interrumpido (se detiene su propagación) descienda 60 dB (T60) respecto a su nivel máximo, restando los primeros 5 dB, por lo tanto, se toma el tiempo entre -5 dB a -65 dB. Esta situación, es difícil de alcanzar ante la presencia del ruido de fondo, consecuentemente, se utilizan variantes del tiempo de reverberación a 30 (T30), 20 (T20), 15 (T15) o 10 (T10) decibeles, las cuales corresponden a una

extrapolación a 60 dB, pero considerando menor tiempo de decaimiento (ArAc, s.f., p.32).

En espacios en los cuales el habla es importante, como un aula escolar, los tiempos de reverberación deben ser cortos, pudiendo ir desde los 0.6 segundos a 1 segundo en promedio (INIFED, 2021).

Otro parámetro relacionado con el tiempo de reverberación corresponde a la inteligibilidad de la palabra, la cual se ve reducida cuando los tiempos son largos. La inteligibilidad puede entenderse como “*una medida de la eficacia en la comprensión de la voz hablada, que, de una forma u otra, cuantifica el porcentaje del mensaje comprendido correctamente*” (Sommerhoff y Rosas, 2011, p.134). El parámetro que evalúa la inteligibilidad es el Índice de Transmisión de la Palabra Hablada (STI por sus siglas en inglés, *Speech Transmission Index*), el cual mide el grado de inteligibilidad entre valores de 0 a 1, donde 0 corresponde a una comprensión nula y 1 a un entendimiento absoluto (Arau, 1999, p.287), sin embargo, se pueden entender como valores buenos a excelentes entre 0.6 a 1 (Avilés y Perea, 2017, p.558). Por otra parte, se tiene el tiempo de decaimiento temprano, mejor conocido como EDT, por sus siglas en inglés (*Early Decay Time*), el cual mide el decaimiento de 0 dB a -10 dB, variando al igual que el tiempo de reverberación, en función de la frecuencia. Este parámetro define la impresión subjetiva de viveza, por lo que, si el EDT en algún punto es significativamente menor que el TR, el espacio se sentirá apagado, sin embargo, puede ayudar al entendimiento de la palabra o inteligibilidad de la misma (Avilés y Perea, 2017, p.566 y 567).

El tiempo central (Ts) es otro parámetro que puede tomarse en cuenta. Éste sugiere valores entre los 60 a 260 ms. Entre mayor sea el valor del tiempo central, la nitidez del sonido será menor, afectando en primera instancia la claridad del habla y posteriormente a la claridad musical (Rodríguez, Lancón, Garay, García y Ponce, 2015). Carrión (1998), señala que, si el TR de un recinto está entre 1 y 2 s, se esperarían valores de Ts entre 72 y 144 ms.

Así mismo, se tiene el parámetro de la definición (D), el cual al ser bajo se percibe poco íntimo y por ende un tiempo de reverberación alto. Se recomiendan valores por arriba de 0.5 (Avilés y Perea, 2017, p.568). La claridad (C) es otro parámetro a considerar y puede definirse como la relación de la energía que recibe el oyente en los primeros ms y la que llega posterior a ese tiempo. C, puede aplicarse para evaluar la voz (C₅₀) y la música (C₈₀), diferenciándose que en la

primera se toman los primeros 50 ms y en la segunda hasta los 80 ms. Específicamente para la voz, se recomiendan valores por arriba de 2dB, puesto que entre más elevado sea dicho valor, la inteligibilidad de la palabra será mejor, sin embargo, es importante no llegar a condiciones acústicas en exceso absorbentes que hagan percibir el espacio demasiado seco (Avilés y Perea, 2017, p.569).

Otro parámetro es el ruido de fondo, el cual puede provenir o ser de tipo aéreo, estructural o de algún equipo eléctrico y que se define como “*Ruido procedente de toda fuente que no sea la fuente de interés (UNE-EN ISO 3744:1996)*” (SEA, 2012) y debe cuantificarse el evaluar acústicamente un aula, puesto que se requieren valores entre 30 a 35 dBA, mientras que en espacios donde por si solos se genera ruido debido a las actividades realizadas en los mismos, tales como cocinas, estacionamientos o gimnasios, los niveles de ruido pueden superar los 50 dBA (Arau, 1999, p.69 y 70).

4. MATERIALES RECICLADOS ABSORBENTES

Existen en el mercado productos con características significativas para absorber la energía sonora, entre los más comunes se encuentran fibras de vidrio, lanas de roca minerales y espumas de poliuretano, por el contrario, se han comenzado a emplear diversidad de materiales que durante su proceso de producción generen una huella de carbono reducida, ya que cuando se producen materiales sintéticos, se contribuye a la emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, lo que ha favorecido a la exploración de materiales denominados ecológicos, renovables, reciclados, sustentables, entre otros, que durante su obtención, producción o fabricación contemplen procesos menos contaminantes y evidentemente ofrezcan propiedades adecuadas para el uso contemplado (Arenas, Alba, Del Rey, Ramis y Suárez, 2013, p.42).

Lo que convierte a un material en reciclado es su transformación a “*...través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos;*” (Cámara de Diputados, 2021).

Cuando se obtiene un material reciclado, es conveniente evaluar sus posibles propiedades con

características por ejemplo térmicas, acústicas, de dureza, de maleabilidad, entre otras, para su aplicación en diversos campos. Con relación al campo de la acústica, desde hace varios años, se han realizado diversas investigaciones y se continúan analizando diferentes materiales reciclados con aplicaciones principalmente para el acondicionamiento acústico.

Estudios que han evaluado muestras o inclusive paneles basados en fibras naturales de origen vegetal como el bambú, la fibra de coco, el arroz, por mencionar algunos, han demostrado diversos comportamientos de los coeficientes acústicos analizados, por ejemplo, cuando las muestras contienen cierta humedad, los coeficientes se ven modificados, los de reflexión tienden a ser más altos en comparación a los de muestras secas, mientras que los de transmisión son bajos contra muestras secas y los de absorción son bajos cuando hay humedad de por medio (Victoria et al., 2018).

Otras investigaciones han mostrado que este tipo de materiales, son efectivos absorbentes del sonido - inclusive superior a materiales comerciales- en bajas frecuencias con un coeficiente de absorción por arriba de 0.5, mientras que en medias y altas frecuencias por arriba de 0.8 (Raj, Fatima y Tandon, 2020).

Así mismo, se ha explorado que al cambiar o variar en algunos casos el aglutinante que mantiene unidas las fibras, puede haber una buena absorción en bajas frecuencias (Lekshmi, Vishnudas y Anil, 2023).

Estudios comparativos de materiales provenientes de residuos de fibras textiles como la mezclilla y el yute con relación a materiales habitualmente aplicados como la fibra de vidrio u otros, han demostrado ser igual o inclusive más efectivos que éstos (Raj, Fatima y Tandon, 2020).

Dos estudios de relevante referencia, debido a la metodología empleada, corresponde en primera instancia a lo realizado por Yun, et al. (2020), quienes a través de un tubo de impedancias evaluaron las propiedades acústicas de compósitos de desechos orgánicos de café. Posteriormente, realizaron simulaciones por computadora en el programa especializado ODEON del recinto de estudio (cafetería) y determinaron el mejoramiento de diversos parámetros de calidad acústica, como el tiempo de reverberación, el cual disminuyó al proponer la colocación de paneles en el local. El otro estudio pertenece a Buratti, Belloni, Lascaro, Lopez y Ricciardi (2016), quienes igualmente a través de un

tubo de impedancias, evaluaron acústicamente compósitos hechos a base de desechos de papel, textiles y pegamento, con diversidad de espesores. Así mismo, analizaron ambientalmente las muestras al realizarles un estudio de ciclo de vida. En este caso, modelaron un aula de clases en el programa RAMSETE para evaluar la mejora en la calidad acústica del espacio.

5. CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE MATERIALES RECICLADOS

Los materiales elegidos para esta investigación, consistieron en muestras de textiles y de PET reciclados de dos distintas empresas mexicanas que los recolectan, quienes después de diversos procesos de transformación y producción distribuyen dichos materiales para su uso y aplicación en distintos ámbitos, como: la industria textil y de calzado, colchonero, empaques térmicos, producción de pañales, toallas húmedas y sanitarias, entre otros, ajenos a aplicaciones acústicas.

La caracterización de los materiales se realizó a partir del empleo de un tubo de impedancia o de incidencia normal. El tubo de impedancia que se empleó se rige bajo la Norma ASTM E1050 – 98 “*Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System*”. El tubo consta de una sola cámara acústica con una fuente sonora en un extremo, mientras que por el otro se localiza el respaldo que contempla el porta muestras para colocar el material de prueba a caracterizar. El registro de señales se realiza mediante micrófonos colocados entre la muestra y la fuente sonora (Figura 1) y un sistema digital de análisis de frecuencias.

El método se basa en la generación de una onda plana al interior del tubo proveniente de la fuente sonora, que posteriormente se convertirá en una onda estacionaria por su descomposición en onda incidente y onda reflejada, generando diferencia de presiones, las cuales son detectadas y captadas por ambos micrófonos para continuar con el procesamiento de datos complejos basados en una función de transferencia.

El rango de operación del tubo de impedancia abarca de los 50 Hz a los 5000 Hz y el diámetro de las muestras debe ser de 3.81 cm y con un espesor variable de máximo de 8 cm.

La muestra de textil reciclado (Figura 2) contaba con un espesor de 3.7 cm y arrojó un NRC de 0.50; mientras que la muestra de PET reciclado (Figura 3) tenía un espesor de 4.3 cm y un NRC de 0.53. Puede

observarse que la muestra de textil tiene una mejor respuesta de absorción acústica por arriba de los 1000 Hz y la de PET por encima de los 2000 Hz.

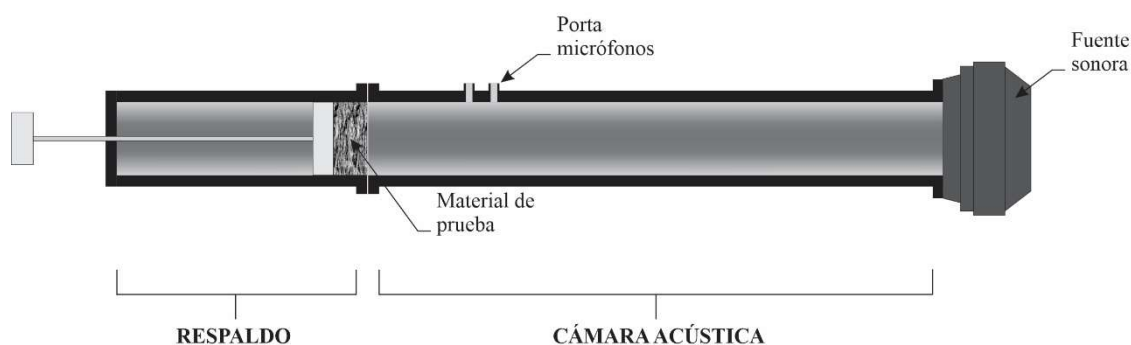


Figura 1. Elementos del tubo de impedancia de una sola cámara acústica. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Ficha acústica de la muestra de textil reciclado. Fuente: Elaboración propia.

6. SIMULACIÓN ACÚSTICA PARA LA OBTENCIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS ACÚSTICOS

Para contar con un modelo de simulación acústica por computadora, primero fue necesario realizar un levantamiento arquitectónico del recinto y posteriormente la ejecución de mediciones *in situ* del recinto, de acuerdo al procedimiento que establece la norma UNE-EN ISO 3382-2 (Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de

reverberación en recintos ordinarios) y realizar un levantamiento arquitectónico del espacio.

El espacio a evaluar, correspondió a un aula escolar a nivel licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Unidad Azcapotzalco (UAM-A) de la Ciudad de México. En dicha aula se imparten clases a alumnos de las Licenciaturas en Arquitectura, Diseño de la Comunicación Gráfica y Diseño Industrial y el cupo es variable, con una capacidad máxima de hasta 35 alumnos, aunque para el estudio, se consideró un 75 % de la ocupación total.



Figura 3. Ficha acústica de la muestra de PET reciclado. Fuente: Elaboración propia.

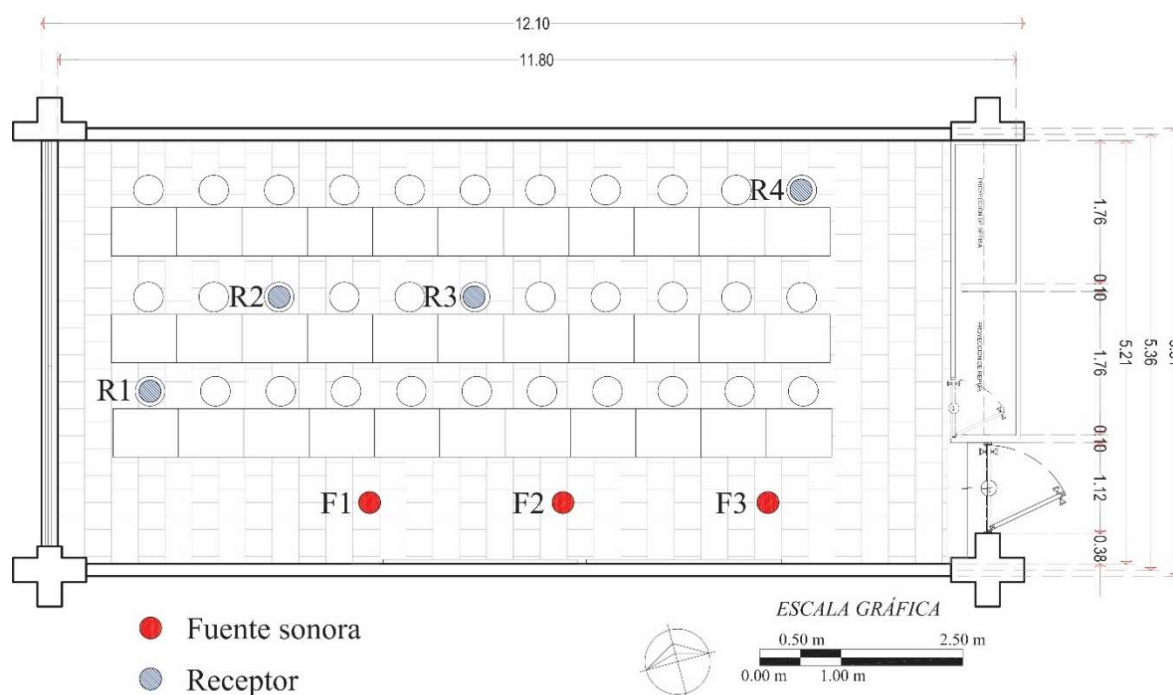
Se establecieron tres lugares para ubicar una fuente sonora a la vez, de esta forma se abarca la zona donde por lo general el docente se desplaza para impartir las clases. Los receptores o bien la audiencia, se distribuyó en el área de los restiradores (Figura 4). Para la generación, recepción y procesamiento de la señal se utilizó un analizador Norsonic (Nor140) con un micrófono de 1/2" omnidireccional y una fuente semidodecaédrica (Nor275), la cual se utilizó para generar un ruido interrumpido. Tanto la fuente sonora como el micrófono se ubicaron a una altura de 1.20 metros del nivel del piso. Se obtuvieron tiempos de reverberación superiores a 1 segundo en todas las bandas de octava a analizar (Tabla 1), tiempos que deberían ser inferiores según lo establecido por el INIFED.

Mediante el *software* CATT-Acoustic, se generó un modelo en tercera dimensión del aula en su estado actual, es decir se consideraron los muebles con los que está equipado el espacio. Así mismo, se asignaron los coeficientes de absorción y difusión sonora de cada uno de los paramentos y mobiliario del aula. Consecuentemente, con las mediciones experimentales se hizo un ajuste con el modelo de simulación acústica con relación al tiempo de reverberación. Las diferencias justamente perceptibles (JND por sus siglas en inglés *Just Noticeable Difference*) entre las mediciones experimentales y el modelo de simulación, no superaron 1 JND, el cual equivale al 5% de este parámetro (Martellota, 2010) (Tabla 1), asumiendo y determinando que el modelo es fiable para reproducir las cualidades acústicas del aula.

Tabla 1. Valores del tiempo de reverberación medido *in situ* y simulado con sus JND correspondientes.

Fuente: Elaboración propia.

TIEMPOS DE REVERBERACIÓN DEL AULA EN SU ESTADO ACTUAL							TR
FRECUENCIA	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
Medición <i>in situ</i>	1.80 s	1.80 s	2.13 s	2.07 s	1.91 s	1.34 s	1.84 s
Simulado	1.74 s	1.76 s	2.05 s	2.04 s	1.88 s	1.38 s	1.80 s
JND	3.20%	2.36%	3.87%	1.33%	1.44%	2.99%	



AULA 117 / EDIFICIO L

Figura 4. Planta arquitectónica del aula con la ubicación de las fuentes sonoras y los receptores. Fuente: Elaboración propia.

Una vez ajustado el modelo, se procedieron a realizar simulaciones para la obtención de diversos parámetros de calidad acústica, considerando diversos escenarios, el primero en su estado actual (Figura 5a), el segundo asumiendo una ocupación del 75% en su estado actual (Figura 5b) y el tercero y cuarto añadiendo 6 (Figura

5c) y 8 (Figura 5d) paneles absorbentes a la altura del techo respectivamente, de textiles y PET reciclados, de los cuales se aplicaron los coeficientes de absorción obtenidos experimentalmente en el tubo de impedancia.

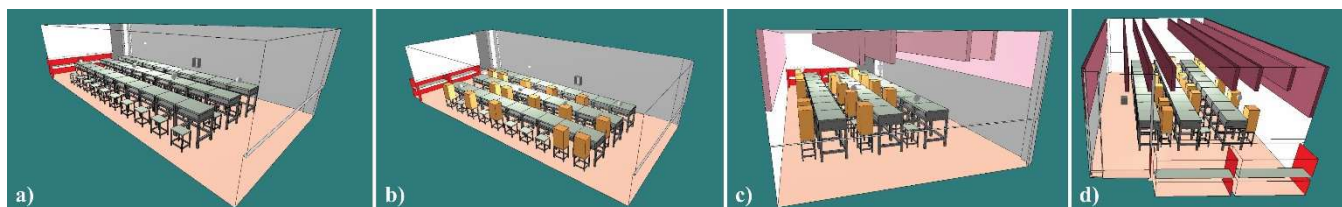


Figura 5. Modelos en tercera dimensión generados en *software* CATIA-Acoustic: a) estado actual, b) estado actual con 75% de audiencia, c) 6 paneles y d) 8 paneles. Fuente: Elaboración propia.

7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con relación al tiempo de reverberación (Fig. 6), se observa que los niveles en su estado actual y aún con audiencia, no están dentro de los intervalos recomendados, apreciándose tiempos altos que seguramente interferirán con la nitidez del mensaje oral.

Los tiempos de reverberación más bajos se obtuvieron con la aplicación de 8 paneles de PET reciclado, seguido de la aplicación de 8 paneles de textil reciclado y posteriormente con la aplicación de 6 paneles

respectivamente. Puede observarse que los paneles generan un comportamiento parecido entre las frecuencias de 125 Hz a 500 Hz, mientras que por encima de los 500 Hz es más aleatorio.

Para el RASTI y el STI (Tabla 2), se obtuvieron resultados de mala a aceptable para el espacio en su estado actual y contemplando el uso de aula con capacidad del 75% de audiencia, mientras que al proponer la colocación de algunos paneles (6 y 8), los valores cambiaron de buena a muy buena.

Los valores de EDT para el aula en su estado actual y con audiencia, no tuvieron diferencias significativas con relación a los valores del TR, sin embargo, al

aplicar paneles absorbentes los valores son perceptiblemente menores al TR, lo que indica claridad

en el habla, influyendo positivamente en la inteligibilidad de la palabra (Figura 7).

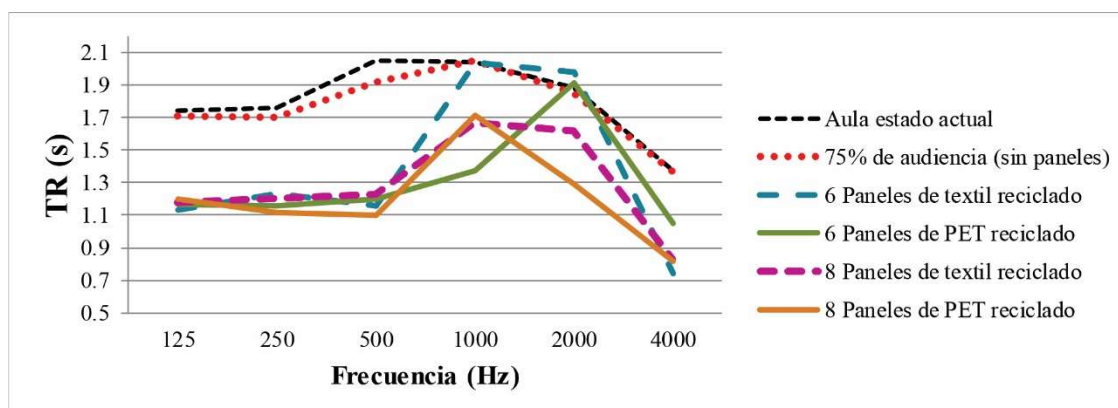


Figura 6. Tiempos de reverberación del aula de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Valores del RASTI y STI de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

SIMULACIÓN	RASTI	STI
Aula estado actual	0.46 (mala)	0.50 (mala - aceptable)
75% de audiencia (sin paneles)	0.46 (mala)	0.50 (mala - aceptable)
6 Paneles de textil reciclado	0.72 (muy buena)	0.71 (muy buena)
6 Paneles de PET reciclado	0.68 (buena)	0.68 (buena)
8 Paneles de textil reciclado	0.72 (muy buena)	0.71 (muy buena)
8 Paneles de PET reciclado	0.70 (buena - muy buena)	0.70 (buena - muy buena)

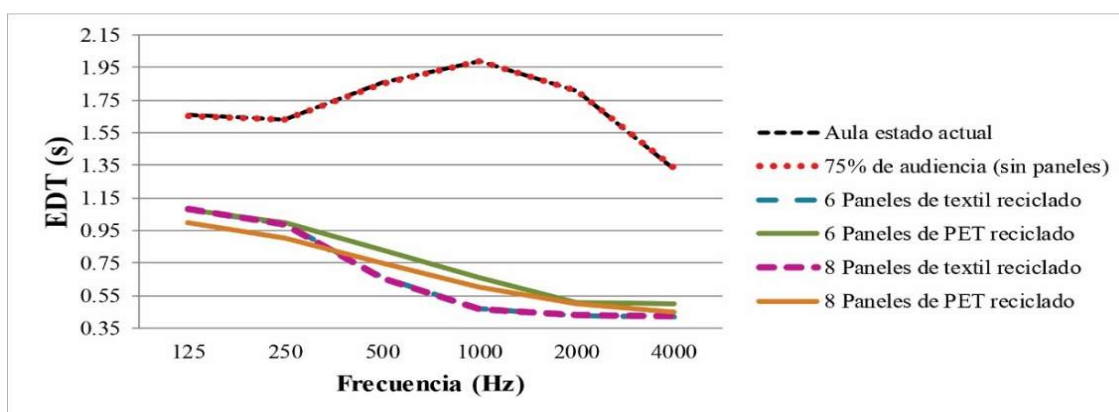


Figura 7. Valores de EDT de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8 puede observarse que, con la aplicación de paneles, el T_s tiene un comportamiento decreciente a medida que la frecuencia se hace más alta. Por el contrario, hay mayor variabilidad de valores con el aula en su estado actual y con audiencia. Al realizar una comparación entre todas las situaciones, los tiempos centrales al proponer paneles absorbentes, ayudan a la

claridad del habla, situación que no es benéfica para el aula en su estado actual, aún al contemplar audiencia en el aula.

Relativo a D_{50} (Figura 9), como era de esperarse, los valores de este parámetro en el aula en su estado actual y con audiencia, hacen sentir el espacio poco íntimo, lo cual está relacionado con los altos tiempo de

reverberación. En cambio, la mayor parte de los valores, a excepción de los correspondientes en la frecuencia de 125 Hz, están dentro de los valores recomendados.

Debido a que C_{50} no lo calcula como tal el *software*, éste hace referencia a una tabla para convertir los datos de D_{50} a C_{50} . En la tabla 3, se visualizan los datos de C_{50} en cada uno de los escenarios simulados. Según los valores recomendados, se sugieren arriba de 2dB,

situación que se cumple en la mayor parte de los valores por encima de los 1000 Hz al aplicar paneles acústicos absorbentes. Evidentemente, todos los valores del estado actual y con audiencia, no se encuentran dentro de lo sugerido.

En cuanto a niveles de ruido de fondo, se empleó el analizador Norsonic (Nor140) y se obtuvieron valores alrededor de los 35 a 40 dBA, por lo que se considera adecuado el espacio en este sentido.

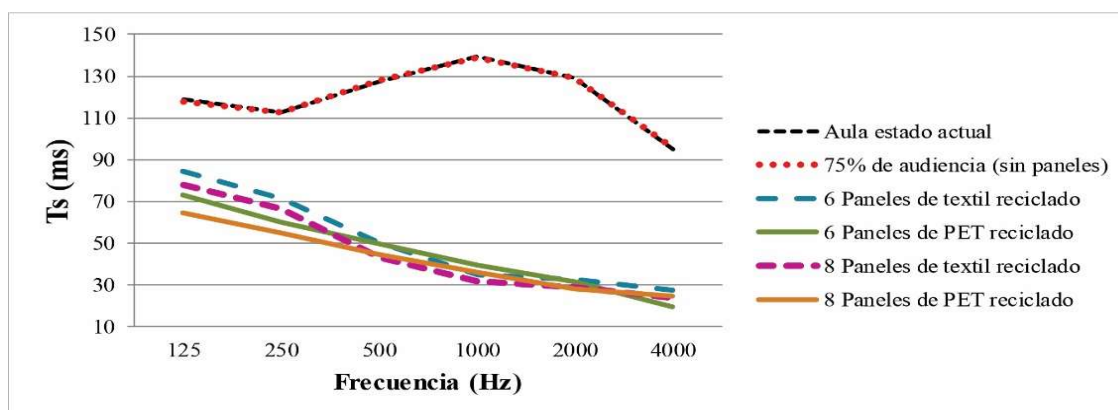


Figura 8. Valores de T_s de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

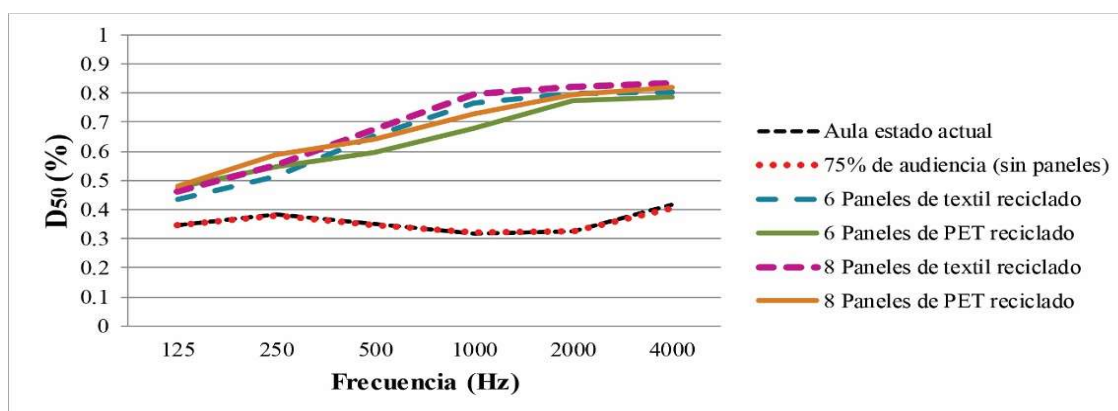


Figura 9. Valores de D_{50} de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Valores de C_{50} de los diferentes escenarios simulados. Fuente: Elaboración propia.

FRECUENCIA	C_{50}					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Aula estado actual	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-1.8 dB
75% de audiencia (sin paneles)	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-3.7 dB	-1.8 dB
6 Paneles de textil reciclado	-1.8 dB	0 dB	1.8 dB	3.7 dB	6 dB	6 dB
6 Paneles de PET reciclado	-1.8 dB	0 dB	1.8 dB	1.8 dB	3.7 dB	3.7 dB
8 Paneles de textil reciclado	-1.8 dB	0 dB	1.8 dB	6 dB	6 dB	6 dB
8 Paneles de PET reciclado	-1.8 dB	0 dB	1.8 dB	3.7 dB	3.7 dB	6 dB

8. CONCLUSIONES

La metodología implementada muestra que el uso de materiales reciclados contribuye a mejorar la calidad acústica de un recinto, verificando a través de la cuantificación de diversos parámetros acústicos.

A partir del empleo del *software* CATT-Acoustic, se pudo obtener la respuesta acústica de un recinto utilizado un aula escolar a nivel licenciatura, previamente partiendo de un levantamiento del espacio y realizando los ajustes necesarios con las mediciones experimentales *in situ* para garantizar la fiabilidad de las respuestas del sistema.

La aportación principal de este trabajo, se basa en la caracterización acústica de materiales que no son usados para este fin y que contemplan datos importantes que los fabricantes desconocen y por ende pueden representar un nuevo campo de aplicación.

La caracterización acústica de los materiales reciclados obtenidos mediante el tubo de impedancia muestra una alta eficacia en el coeficiente de absorción para frecuencias por arriba de los 1000 Hz. Con ello los materiales reciclados utilizados en este trabajo, como textiles y PET reciclados, muestran su aplicación para reducir el tiempo de reverberación, con lo cual se incrementa la calidad acústica del recinto a partir de su estado actual y ajustarlo a los valores recomendados por el INIFED. De esta manera es posible implementar el análisis de diferentes espacios para determinar la ubicación y el área de superficie que debe ser cubierta para mejorar la calidad acústica de un recinto con materiales reciclados absorbentes.

Este escrito corresponde a una conferencia llevada a cabo en enero de 2023, en la Semana del Sonido, organizada por el Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú (INPAVAC) y auspiciada por la organización de *International Year of Sound 2020+*. Se han afinado aspectos puntuales para la publicación del texto.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ya que este trabajo ha sido apoyado por dicho organismo para los estudios de maestría en el programa Diseño Bioclimático en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Finalmente, se agrade a las y los editores y revisores de la revista ECOS para la publicación de este escrito.

REFERENCIAS

- ArAc. (s.f.) *Multibook of Architectural Acoustics*. Recuperado el 31 de enero de 2023 de <https://arac-multibook.com/>
- Arau, H. (1999). *ABC de la Acústica Arquitectónica*. Barcelona, España: Ediciones ceac.
- Arenas, J. P., Alba, J., Del Rey, R., Ramis, J., y Suárez, E. (2013). *Materiales Absorbentes Ecológicos para Pantallas Acústicas*. España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C. (2023). *Estudio cuantitativo de la industria del reciclaje de plásticos en México*. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Estudio-Cuantitativo-de-la-Industria-del-Reciclaje-en-Mexico-VF.pdf>
- Avilés, R., y Perera, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- Barti, R. (2017). Valoración del confort acústico. *Tecniacústica 2017, 48º Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, European Symposium on Underwater Acoustics Applications, European Symposium on Sustainable Building Acoustics*, 296-309.
- Buratti, C., Belloni, E., Lascaro, E., Lopez, G.A., y Ricciardi, P. (2016). Sustainable panels with recycled materials for building applications: environmental and acoustic characterization. *Energy Procedia*, 101, 972-979. doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.123
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Recuperado el 17 de febrero de 2023 de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf
- Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. España, Barcelona: UPC (Universidad Politécnica de Catalunya).
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (2019). *Promoción de la economía circular en el sector moda y textil en México*. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://www.cemda.org.mx/wp->

- content/uploads/2019/08/CEM_moda_publicaci%C3%B3n.pdf
- Dirección General de Comunicación Social. 2021. *Boletín UNAM-DGCS-607*. Recuperado el 18 de abril del 2023 de https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_607.html
- Duran, A. E., Jimeno, M. G., Rodríguez, D. S., Meléndez, A. I., Palacios, W., y Mendoza, D. A. (2021). Condiciones acústicas en las aulas de clase: Una revisión de la literatura. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(2), 79-90. doi.org/10.17081/invinno.9.2.4908
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. Recuperado el 27 de febrero de 2023 de <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Cuéntame de México*. México. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T>
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (2021). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. Volumen 3: Habitabilidad y funcionamiento, Tomo IV: Acondicionamiento Acústico*. México. Recuperado el 21 de febrero de 2023 de http://www.inifed.gob.mx/doc/pdf/2021/Normatividad/VOLUMEN_3_TOMO_IV_ACUSTICA_2021.pdf.
- Ipinza, C. (2015). Arquitectura y Acústica en Centros Educativos. Una mirada al panorama chileno. *Revista A+C*, (6). 75-85.
- Klatte, M., Lachmann, T., y Mies M. (2010). Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise & Health*, 12(49). 270-282. doi: 10.4103/1463-1741.70506
- Lekshmi, M.S., Vishnudas, S., y Anil, K.R. (2023). Experimental investigation on acoustic performance of coir fiber and rice husk acoustic panels. *Applied Acoustics*, 204(109244). doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109244
- Martellota, F. (2010). The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 128(2), 654-663. doi.org/10.1121/1.3455837
- Raj, M., Fatima S., y Tandon, N. (2020). Recycled materials as a potential replacement to synthetic sound absorbers: A study on denim shoddy and waste jute fibers. *Applied Acoustics*, 159(107070). doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107070
- Rodríguez, F. E., Lancón, L. A., Garay, E., García, S. G., y Ponce D. R. (2015). Análisis de la respuesta acústica de la capilla del San Francisco de Asís en Azcapotzalco, México: Estudio del impacto que causaron las intervenciones arquitectónicas. *Tecniacústica 2015, 46° Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, European Symposium on Virtual Acoustics and Ambisonics*, 1382-1388.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Residuos sólidos urbanos: la otra cara de la basura. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://www.gob.mx/semarnat/galerias/residuos-solidos-urbanos-la-otra-cara-de-la-basura-18815>
- Sociedad Española de Acústica. (2012). *Glosario de Términos Acústicos*. España: Editorial Sociedad Española de Acústica.
- Sommerhoff, J., y Rosas, C. (2011). Estudio de la correlación entre STI y test de inteligibilidad subjetivo. *Estudios Filológicos*, (47), 133-147. doi.org/10.4067/S0071-17132011000100008
- Victoria, U., Vázquez, R. E., Cantarey, D., Lancón, L. A., Villeda, R., García, S. G., y Arroyo, V. (2020). Caracterización acústica de bambú mediante análisis estacionario. *Revista del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida*, 35(85), 15-20.
- Yun, B. Y., Cho H. M, Kim, Y. U., Lee, S.C., Berardi, U. Kim, S. (2020). Circular reutilization of coffee waste for sound absorbing panels: A perspective on material recycling. *Environmental Research*, 184(109281). doi.org/10.1016/j.envres.2020.109281
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J.,... Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en las aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali*, Medellín, Colombia: Editorial Bonaventuriana.