

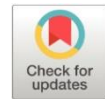


Estudio de envolventes dinámicas para mejorar el confort acústico. Caso de estudio campus UCACUE

Study of dynamic envelopes to improve acoustic comfort. UCACUE campus case study

- ¹ Pedro Andrés Armijos Torres  <https://orcid.org/0000-0002-9504-4254>
Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca.
pedro.armijos.54@est.ucacue.edu.ec
- ² Marco Benigno Avila Calle  <https://orcid.org/0000-0002-2134-1432>
Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca.
mavila@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 07/01/2023

Revisado: 15/02/2023

Aceptado: 02/03/2023

Publicado: 05/04/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2534>

Cítese:

Armijos Torres, P. A., & Avila Calle, M. B. (2023). Estudio de envolventes dinámicas para mejorar el confort acústico. Caso de estudio campus UCACUE. *ConcienciaDigital*, 6(2), 65-88. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2534>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

Polución
Acuática,
Envolventes
Dinámicas,
Confort
Acústico,
material
reciclado,
dispositivos
acústicos.

Resumen

Introducción. Una de las causas que ha cobrado fuerza en la actualidad debido a los efectos que genera en la calidad de vida de las personas, es la contaminación acústica; misma que está presente en todas las actividades cotidianas, como son: estudio, trabajo, hogar, teatros, restaurantes, calles, parques, entre otros. El sentido de la audición al igual que el de la vista, representa una conexión fundamental para estar informado de los acontecimientos del entorno, ya que está en alerta permanente inclusive cuando dormimos. El confort acústico es una sensación subjetiva de bienestar, propia de cada persona y depende de diversos factores como, por ejemplo: la actividad que se realiza en un determinado momento, así como el ambiente sonoro existente en el lugar. Por otra parte, la sensación de incomodidad acústica se produce cuando un ambiente sonoro no es el adecuado para la actividad de los ocupantes, esto a más de generar un malestar orgánico, puede producir un malestar intelectual y como consecuencia, una alteración emocional. **Objetivo.** El presente estudio se centra en el impacto de la aplicación de envolventes dinámicas en el edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca. **Metodología.** Con la metodología utilizada, se pretende innovar el diseño arquitectónico, mediante el análisis, simulación y empleo de materiales amigables con el medio ambiente, a través del desarrollo de envolventes dinámicas tridimensionales que se fusionen con la fachada y en conjunto, mejoren las condiciones de confort acústico en el interior de las edificaciones. **Resultados.** Obtener un prototipo digital de envolvente dinámica en fachadas con el fin de reducir el ruido ambiental generado por el tráfico vehicular de la Avenida de las Américas. **Conclusión.** Los prototipos de envolventes dinámicas constituyen un aporte para las edificaciones educativas, reduciendo el ruido del tráfico en un 28% con paneles de material reciclado que podemos encontrar en nuestra ciudad. **Área de la ciencia:** arquitectura.

Keywords:

Aquatic
Pollution,
Dynamic
Envelopes,

Abstract

Introduction. One of the causes that has gained strength today because it generates on people's quality of life, is noise pollution; The same that is present in all daily activities, such as: study, work, home, theaters, restaurants, streets, parks, among others. The sense

Acoustic
Comfort,
recycled
material,
acoustic
devices.
Summary

of hearing, like that of sight, represents a fundamental connection to be informed of events in the environment, since it is on permanent alert even when we sleep. Acoustic comfort is a subjective sensation of well-being, typical of each person and depends on several factors, such as: the activity that is conducted at a certain time, as well as the existing sound environment in the place. On the other hand, the sensation of acoustic discomfort occurs when a sound environment is not suitable for the activity of the occupants, this, in addition to generating organic discomfort, can produce intellectual discomfort and, consequently, emotional alteration. **Objective.** This study focuses on the impact of the application of dynamic envelopes in the building of the Academic Unit of Engineering, Industry and Construction of the Catholic University of Cuenca. **Methodology.** With the methodology used, it is intended to innovate architectural design, through the analysis, simulation, and use of environmentally friendly materials, through the development of three-dimensional dynamic envelopes that merge with the façade and together improve comfort conditions. acoustics inside buildings. **Results.** Obtain a digital prototype of a dynamic envelope on facades to reduce the environmental noise generated by vehicular traffic on Avenida de las Américas. **Conclusion.** The prototypes of dynamic envelopes constitute a contribution to educational buildings, reducing traffic noise by 28% with panels of recycled material that we can find in our city.

Introducción

Los seres humanos, a través de los años, hemos tenido que afrontar una serie de acontecimientos relacionados desastres naturales y otros asociados plenamente a las actividades realizadas por el hombre. Una de las causas que ha cobrado fuerza en la actualidad debido a los efectos que genera en la calidad de vida de las personas, es la contaminación acústica; mismo que está presente en todas las actividades cotidianas, como son: estudio, trabajo, hogar, teatros, restaurantes, calles, parques, entre otros. Pese a los intentos de las autoridades por regular esta situación, la contaminación acústica se ha convertido en un hecho desafortunado en la vida de las personas a nivel mundial (Goines & Hagler, 2007).

La problemática que se desarrolla en torno al crecimiento de la población ha desencadenado una serie de inconvenientes que afectan directamente la calidad de vida

de las personas, esto se puede evidenciar no solo en las grandes metrópolis sino también en las pequeñas ciudades. Existen estudios que demuestran que, en Cuenca la contaminación acústica se presenta por las actividades diarias relacionadas a: comercio, industria, turismo, tráfico vehicular (Omar et al., 2015).

En un estudio sobre la medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile, se concluye que del 100% del ruido ambiental que existe a nivel mundial y en esta ciudad, el 70% proviene del tránsito vehicular y el 30% de otras acciones humanas que se desarrollan dentro del entorno (Platzer et al., 2007).

En enero de 2020, diario el Mercurio de la ciudad de Cuenca, a través de una publicación señaló que la cantidad de vehículos en Cuenca en el 2019 ascendió un 1% en relación con el 2018 (Sánchez, 2020).

El confort y calidad de vida de los cuencanos es de interés público, por ello, desde hace pocos años, se ha empezado a evaluar de manera precisa y periódica los efectos que el ruido ambiental provoca en la salud de las personas (Martínez et al., 2018).

Un estudio realizado por la Universidad del Azuay y la Comisión de Gestión Ambiental del Municipio de Cuenca en el 2017 reflejó que, el ruido en las vías de Cuenca está bordeando los 80 decibeles, nivel que se enmarca en los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

En Turquía un estudio publicado en marzo de 2018 se concentró en la determinación de la contaminación acústica en los campus de la Universidad de Cukurova y concluyó que el incremento del número de personas desencadena el incremento en el número de vehículos y este impacto conduce a un aumento en el nivel de ruido inducido por el tráfico. Entre el 2010 y 2017 en el campus, el ruido ambiental inducido por la carretera se expandió, esta situación se volvió particularmente evidente en las nuevas facultades en el sur del campus y sus alrededores (Çolakkadioğlu et al., 2018).

En la actualidad, otro tema de interés son los desechos plásticos, en un artículo publicado por la Universidad Nacional de Singapur, se manifiesta que de los aproximadamente 6300 millones de toneladas de desechos plásticos que se generaron en 2015, tan solo el 9% se recicló, mientras que el 79% fue a parar en vertederos, ríos y océanos (Koh et al., 2018).

Dada la problemática detallada en los puntos anteriores, en el presente artículo, se analiza alternativas para que a través del manejo adecuado de los desechos se obtenga un material reciclado que contraste los efectos del ruido ambiental.

En la actualidad, para evaluar el confort acústico en los edificios destinados a la vivienda, se ha implementado métodos estandarizados para la reducción del sonido aéreo y de impacto. No obstante, un análisis completo, debería incluir otro parámetro que es la

percepción humana del entorno acústico. Por lo tanto, una de las preocupaciones principales es, la corresponsabilidad entre la percepción de los residentes con los resultados adquiridos por las mediciones acústicas y los descriptores del aislamiento acústico en los edificios. Para poder formular modelos que permitan predecir la satisfacción y el confort de los usuarios del edificio, es necesario definir si efectivamente se obtiene una correlación entre estas variables (Vardaxis et al., 2018).

En un estudio sobre aislamiento acústico entre viviendas enfocado en los requisitos de las normas de construcción en Europa, se visualiza que entre las principales características del confort acústico se encuentran: ausencia de sonido no deseado, sonidos deseados con el nivel y la calidad adecuados, realización de actividades sin causar molestia en las demás personas. El confort acústico está relacionado con la persona como fuente de sonido y no solo como receptora. De tal manera que se concluye que alrededor del 60% de la población estaría dispuesta a pagar en promedio un 10% más por una vivienda, si el aislamiento acústico pudiera ser mejorado (Rasmussen, 2010).

Tres experimentos realizados en laboratorios suizos, en los que se investigaron los efectos de varias variables en el confort acústico a corto plazo, arrojaron resultados que indican que, en los conjuntos habitacionales, un cuidadoso diseño acústico de las fachadas puede contribuir a mejorar el confort acústico de los residentes (Taghipour et al., 2019).

Un estudio sobre la reducción del ruido del tráfico en los balcones de la fachada de un edificio de gran altura realizado por la Universidad de Kyushu-Japón, indica que, en las áreas urbanas de Asia, las viviendas de gran altura a menudo se construyen cerca de carreteras principales o vías férreas. Los crecientes volúmenes de tráfico ponen una exposición al ruido a largo plazo a las personas que viven en habitaciones adyacentes a carreteras o vías férreas, lo desencadena la molestia y trastornos del sueño. Como resultado de las pruebas realizadas, se comprobó la eficiencia del efecto de aislamiento acústico generado en los balcones con reflectores montados en el techo (Ishizuka & Fujiwara, 2012).

Giuseppe Ciaburro, Rosaria Parente, Gino Iannace y Virginia Puyana-Romero trabajaron en una caracterización acústica de un nuevo metamaterial de membrana basado en tres capas de una membrana de PVC reutilizada con arandelas de metal unidas. Esta estructura servirá para la construcción de paneles acústicos en pro de mejorar la acústica de la sala (Buratti & Merli, 2022).

En lo referente a la protección de la vivienda, la fachada cumple un papel principal ya que se relaciona directamente con el clima interior, así como en el consumo de energía, puesto que existen muchos flujos de energía en ambos sentidos sobre este límite entre los entornos externo e interno (Johnsen & Winther, 2015).

Las envolventes dinámicas en fachadas siguen siendo desconocidas, pese a haber sufrido un gran desarrollo en los últimos años, muy pocas edificaciones emplean el movimiento de su envolvente como un controlador de la energía que pasa a su interior, adecuándola a las necesidades humanas de bienestar (Carmenado, 2016).

Fundamentos teóricos

Envolventes dinámicas

Los edificios o partes de edificio hoy en día tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones medio ambientales o condiciones del exterior, mismas que se denominan receptores (Chang et al., 2019). Los receptores trabajan en el interior como en el exterior (Kent, 1977), los mismos que permiten mejorar la sensación de confort del edificio universitario.

Las aplicaciones interactivas cambian totalmente la concepción de envolvente dinámica para los usuarios, estas nos llevan a regular el proceso de diseño en fase interactiva (Hosseini et al., 2019).

A través de los años, se ha evidenciado la constante evolución de la arquitectura, al hablar de innovación no podemos omitir a la envolvente dinámica como un elemento potencial de este concepto. La envolvente se presenta como un elemento que protege a la superficie de su interacción con el entorno, esta herramienta debe ser explotada de la mejor manera para sacar el mayor provecho en la obra, a través del uso de los recursos disponibles en nuestro medio, aprovechando al máximo esta gran superficie y que no se convierta en un elemento estático. Con el cambio de paradigmas en el mundo de la arquitectura, se ha incorporado diferentes maneras de comprender sus elementos y es así como la envolvente dinámica dejó de ser un elemento pesado y se convirtió en un elemento liviano que actúa como filtro protector de agentes externos y, puede ser móvil, incorporando elementos que nos proporciona la tecnología actual (Petraglia, 2018).

Acústica

Para comprender de mejor manera a que hace referencia la acústica, así como el sonido, a continuación, se exponen una serie de conceptos:

- **Aislantes acústicos:** Son elementos diseñados para solucionar problemas de aislamiento acústico en cualquier tipo de edificación, utilizando diferentes tipos de materiales donde se encuentran principalmente laminas en base de caucho, lana de vidrio, madera de distinta densidad (Arkiplus, s. f.).
- **Contaminación acústica:** se define a la contaminación acústica como “presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que implican molestia, riesgo o daño para las personas, para el

desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causan efectos significativos sobre el medioambiente” (Real Academia Española [RAE], 2022).

- Frecuencia: número de pulsaciones de una onda acústica senoidal ocurridas durante un segundo. Es equivalente al inverso del período. Unidad: herzio (Hz). (Monroy, 2006).
- Frecuencias preferentes: Frecuencias indicadas en la Norma UNE 74.002-78, entre 100 Hz y 5.000 Hz. Para bandas de octava y para tercios de octava las frecuencias, en Hz. (Monroy, 2006).
- Sonido: Sensación auditiva producida por una onda acústica, según la RAE es “sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire” (RAE, 2022).
- Ruido: es un sonido desagradable y molesto cuando existen niveles altos son dañinos para la audición (Carolina et al., 2000).

Normativa

Para la construcción de espacios educativos se enlazan directamente: la seguridad, confort, habitabilidad y dimensionamiento de la edificación escolar; para realizar directamente la planificación arquitectónica de manera integral de los edificios educativos (Ministerio de Educación, 2012).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, s.f.), considera que 35 dB es el sonido ambiente adecuado para permitir unas buenas condiciones de enseñanza y aprendizaje en las clases, en nuestras aulas el sonido del exterior excede en mucho el nivel requerido para una enseñanza adecuada.

Para realizar las mediciones de sonido dentro del aula de la facultad de arquitectura se ocupará la Norma UNE-EN ISO 16283-3 “Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción, Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada”

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, el límite admisible para zonas hospitalarias y educativas en horario 06h00 a 20h00 es de 45 dB y de 20h00 a 06h00 es de 35 (Ministerio del Ambiente, 2003).

Emplazamiento

El edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca se encuentra ubicado al sur de la República del Ecuador en la provincia del Azuay, parroquia Bellavista, entre las calles General Torres y Avenida de las Américas con las siguientes coordenadas 2°53'06.0" Sur y 79°00'19.8" Oeste.

El edificio cuenta con cuatro plantas, para nuestro caso de estudio hemos escogido el aula 213 que se encuentra en la primera planta alta, distribuida en 13 aulas, con un promedio de 20 estudiantes por aula.

La estructura de cimentación, columnas y vigas son de hormigón armado, losas de hormigón armado alivianadas, cubierta de teja vidriada, tabiquería de ladrillo macizo, ventanas de aluminio color negro, vidrio de 4mm puertas de tol galvanizado con estructura metálica, cielo raso de placas de yeso-cartón, y pisos de baldosa.

Figura 1

*Vista frontal del edificio de la unidad académica de ingeniería, industria y construcción
Universidad Católica de Cuenca*



Nota: Campus General Torres. **Fuente:** Universidad Católica de Cuenca (2001)

Objetivo General

Determinar el mejor prototipo de envolvente dinámica, mediante el análisis de diseños y manejo adecuado de un software, que simule el desempeño del material, contribuyendo a la obtención de un producto que contraste los efectos del ruido ambiental.

Objetivos Específicos

- Determinar la percepción acústica que tienen los estudiantes de arquitectura sobre la sensación auditiva del ruido proveniente de la Avenida de las Américas, a través de la aplicación de encuestas, a fin de conocer el horario de mayor polución acústica.
- Determinar el espectro de sonido generado desde la avenida principal hacia el aula 213 del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, con la información obtenida, extraer resultados que permitan visualizar el espectro del sonido en las diferentes frecuencias, identificando cual es la principal fuente de ruido.

- Elaborar envolventes dinámicas, a través de prototipos tridimensionales para ponerlos en funcionamiento, mediante la simulación del cierre acústico en el interior del aula.

Metodología

Con la metodología utilizada, se pretende innovar el diseño arquitectónico, mediante el análisis y empleo de elementos amigables con el medio ambiente, a través del desarrollo de envolventes dinámicas que se fusionen con la fachada y en conjunto, mejoren las condiciones de confort acústico en el interior de las edificaciones.

En la tabla 1 podemos observar el tipo y nivel de investigación para nuestro caso de estudio.

Tabla 1

Tipo y nivel de investigación

Según su finalidad	Aplicada	Se pretende resolver los problemas de polución acústica en las edificaciones educativas.
Según su alcance temporal	Longitudinal prospectiva	Se realiza mediciones presentes para determinar el sonido en decibelios para mejorar el confort acústico del interior de las edificaciones.
Según su profundidad	Explicativa	Estudia las siguientes variables: contaminación acústica, nivel de ruido admisible, aislamiento acústico, confort acústico para entender el problema y realizar el prototipo.
Según las fuentes	Mixta	Se utiliza fuentes primarias y secundarias.
Según su carácter	Cuantitativa	Se toma datos cuantitativos para mejorar las condiciones de confort acústico dentro del edificio.
	Cualitativa	Se analizan datos cualitativos mejorando las envolventes dinámicas en su estética.
Según su naturaleza	Cuasiexperimental	Se realiza el prototipado tridimensional para verificar la reducción del ruido en las edificaciones.

Proceso metodológico

La investigación se realiza de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Etapa 1 Percepción: Para esta etapa se realiza encuestas a los estudiantes sobre la sensación auditiva del ruido proveniente de la Avenida de las Américas, a fin de conocer el horario de mayor contaminación acústica.
- Etapa 2 Estudio Acústico: Mediante los instrumentos tecnológicos como el sonómetro, se toman datos para determinar el espectro de sonido generado desde la avenida principal hacia el aula 213 del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca. Con los datos obtenidos se cuantifica los resultados que permiten visualizar el espectro del sonido en las diferentes frecuencias, identificando cual es la principal fuente de ruido.
- Etapa 3 Prototipado tridimensional: Para esta etapa procedemos a diseñar propuestas de envolventes dinámicas, a través de prototipos tridimensionales con el software: Archicad 22, y mediante la simulación son puestos en funcionamiento, con el cierre acústico en el interior del aula.
- Etapa 4 Valoración y comprobación: en esta etapa valoramos y verificamos la efectividad de nuestro modelo de envolvente dinámica mediante la simulación de materiales en el software: Sound Insulation Prediction (V9.0.20) que simula el cierre acústico con diferentes combinaciones de materiales.

Población y muestra

Para el caso de estudio, de las 13 aulas que conforman la primera planta alta del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, se tomará como muestra el aula 213.

Las técnicas escogidas para la obtención de datos son: ficha de recolección de datos, cuestionario.

La ficha de recolección de datos nos permite recopilar información de diferentes fuentes, hacer evaluaciones y tomar mejores decisiones.

Por otra parte, el cuestionario, facilita conocer la percepción del confort acústico del interior del aula de clase. Como se indicó anteriormente, esta investigación según su carácter es cuantitativa y cualitativa.

El instrumento de recolección de datos es la encuesta que fue aplicada a 70 alumnos de la facultad de arquitectura que se encuentran en el aula de estudio y adyacentes.

Para el diseño de la envolvente dinámica, se toma como referencia los siete edificios más representativos a nivel mundial que emplean este tipo de envolventes, de tal manera que, con el estudio del criterio aplicado por los expertos, se puede plantear el mejor diseño de prototipos de envolventes dinámicas, de igual manera, se realiza la búsqueda para escoger

material acústico idóneo que esté disponible en el medio y concluir con la realización de pruebas en el software.

Resultados

Se procede a medir el ruido en el interior del aula con la normativa que indica “Las mediciones en interiores se realizarán siempre con las ventanas y puertas cerradas. La instrumentación se situará al menos a una distancia de 1,20 m del suelo, techos y paredes; y a 1,50 m de cualquier puerta o ventana. De no ser posible el cumplimiento de las distancias, se medirá en el centro del recinto”, Norma UNE-EN ISO 16283-3. Para esta medición se utilizó un sonómetro Modelo: SL-4023SD tipo 2, y Modelo: XL2 RTA Spectrum Logging tipo 1 cumpliendo con la norma IEC 61672.

Con la simulación de la envolvente dinámica en la fachada del aula en estudio, se procede a efectuar una nueva medición de la polución acústica y a través de la documentación de los resultados finales, se comprueba que los prototipos de envolventes dinámicas permiten reducir el ruido ambiental.

Presentación de resultados

Para continuar con la etapa 1 se realizó este cuestionario con aprobación de un juicio de expertos, como resultado se obtuvo las siguientes preguntas:

1. ¿Considera usted que en su aula existe contaminación acústica procedente de la Avenida de Américas?
2. Califique del 1 al 5 el nivel de ruido interior que existe en su aula, siendo 1 poco molesto y 5 muy molesto.
3. ¿En qué intervalo horario sueles escuchar más ruido interior aproximadamente? Puedes seleccionar más de una respuesta si lo ves necesario.
(08:00 - 10:00 h)1, (10:00 - 12:00 h)2, (12:00 - 14:00 h)3, (14:00 - 16:00 h)4, (16:00 - 18:00 h)5, (18:00 - 20:00 h)6, (20:00 - 21:00 h)7.
4. ¿Cree usted que el ruido interior es motivo de distracción al momento de recibir clases?
5. ¿Cree usted que un aula debe disponer de mecanismos que contribuyan a aislar la polución acústica?

En la tabla 2 se muestra los resultados de las encuestas realizadas a 70 alumnos de la facultad de arquitectura. El 37.4% de los encuestados tuvieron la percepción de mayor ruido en el aula en el horario de 8:00 a 10:00 am.

Tabla 2

Encuestas estudiantas de arquitectura

RESPUESTAS		PREGUNTA					Total
		PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	
1	Observado	0	5	37	0	0	42
	% de columna	0.0 %	7.1 %	37.4 %	0.0 %	0.0 %	11.1 %
2	Observado	0	1	27	0	0	28
	% de columna	0.0 %	1.4 %	27.3 %	0.0 %	0.0 %	7.4 %
3	Observado	0	22	22	0	0	44
	% de columna	0.0 %	31.4 %	22.2 %	0.0 %	0.0 %	11.6 %
4	Observado	0	27	13	0	0	40
	% de columna	0.0 %	38.6 %	13.1 %	0.0 %	0.0 %	10.6 %
5	Observado	0	15	0	0	0	15
	% de columna	0.0 %	21.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	4.0 %
SI	Observado	67	0	0	65	70	202
	% de columna	95.7 %	0.0 %	0.0 %	92.9 %	100.0 %	53.3 %
NO	Observado	3	0	0	5	0	8
	% de columna	4.3 %	0.0 %	0.0 %	7.1 %	0.0 %	2.1 %
Total	Observado	70	70	99	70	70	379
	% de columna	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %

En la etapa 2 se recolecta información con el sonómetro se en 2 horarios, en la primera se realiza mediciones en el horario de 3:40 pm y 4:40 pm durante el periodo de un mes, obteniendo los resultados de la tabla 3.

Tabla 3

Resultados Sonómetro Aula 213 vs Ave. Américas

	N	Media	Mediana	DE	Mínimo	Máximo
AULA 213	601	60.1	60.1	0.986	57.2	63.1
AVE. AMÉRICAS	601	64.1	64.1	1.184	60.8	67.6

Fuente: Méndez (2023)

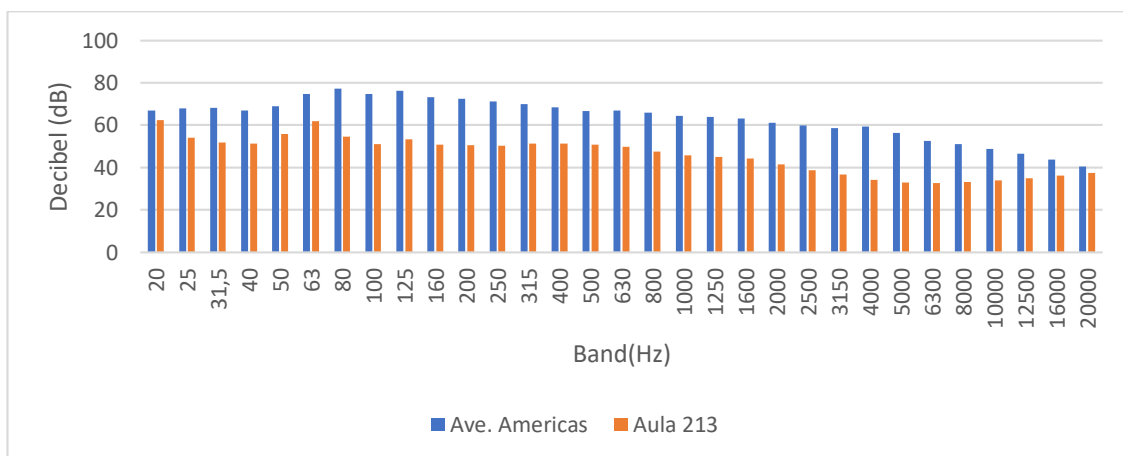
Espectro del Ruido

Con esta premisa se midieron las ondas acústicas, obteniendo como resultado el espectro de ruido tanto en el aula 213, así como en la Avenida de las Américas, cumpliendo todas las normativas sugeridas, que consiste en tomar la muestra al centro del local con un trípode a una altura de 1m con puertas y ventanas cerradas.

En la figura 2 se puede observar que la principal fuente de ruido que se encuentra a los 60 Hz y 150 Hz, entre picos de 65 dB a 78 dB, por lo cual se concluye que son frecuencias bajas donde se encuentran principalmente el ruido de los automotores. La gráfica también nos indica que el mayor pico se encuentra en la frecuencia de 80 Hz.

Figura 2

Espectro de ruido



Diseño de envolventes

Para el diseño de celosía se ha escogido los 7 edificios más representativos a nivel mundial que emplean este tipo de envolventes, con el afán de adaptar el análisis al caso de estudio y en base a la calificación de los expertos y el criterio constructivo que se

subdivide en viable y materialidad; el otro criterio es su morfología que se subdivide en funcional, novedoso, estético, adaptativo de acuerdo con la figura 3.

Figura 3

Envolventes más representativas

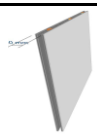


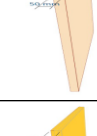
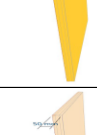
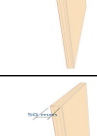
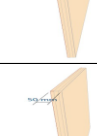
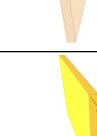

NOMBRE DEL PROYECTO	AÑO	PROPUESTA	DETALLE	CRITERIO DE EXPERTOS	VALORACIÓN DE PROPUESTAS DE CELOSÍAS						
					CRITERIO CONSTRUCTIVO		MORFOLÓGICAS				
					VIABLE	MATERIAL	FUNCIONAL	NOVEDOSO	ESTÉTICO	ADAPTATIVO	
Manioba Hydro	2009			DISEÑO 1	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
Campus de la SDU	2014			DISEÑO 2	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
Institut du Monde Arabe	1987			DISEÑO 3	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
St. Ingbert Town Hall	2009			DISEÑO 4	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
Al Bahar Towers	2012			DISEÑO 5	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
Kiefer Technic Showroom	2007			DISEÑO 6	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						
El edificio Mediu-TIC, Barcelona	2010			DISEÑO 7	EXPERTO 1						
					EXPERTO 2						
					EXPERTO 3						
					EXPERTO 4						
					EXPERTO 5						
					EXPERTO 6						
					EXPERTO 7						

Materialidad de envolventes

Se realizan las simulaciones de las envolventes con materiales que se adaptan al caso de estudio, para lo cual se ha visto los más representativos presentes en nuestro medio, en la figura 4 se observa el criterio de expertos que recomiendan el mejor material para nuestro caso de estudio.

Figura 4

Materialidad de envolventes

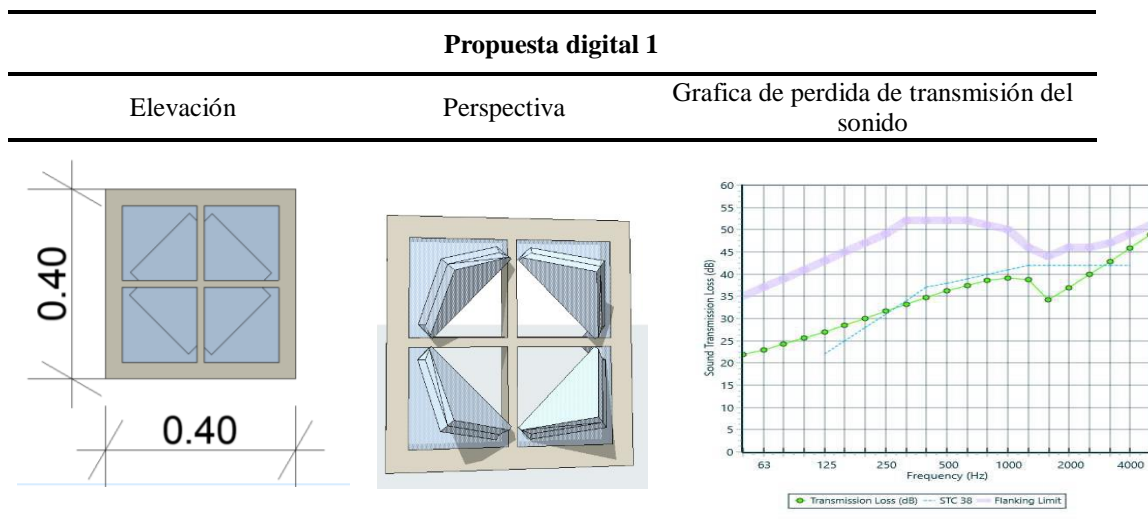
VALORACIÓN DE PROPUESTAS DE MATERIALES EN SOFTWARE DE SIMULACIÓN											
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	DETALLE	CRITERIO DE EXPERTOS							TL(dB) FRECUENCIA 50-80(Hz)	SOFTWARE
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7		
M1	Panel 1: 1x3 mm Alucobond + 1x9 mm Fibrocemento Estructura: Marco de madera (26 mm x 45 mm) Separación entre montantes Lana de Roca 26mm Panel 2: 1x9 mm Fibrocemento + 1x3 mm Alucobond									23	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M2	Panel 1: 1x3 mm Alucobond + 1x9 mm MDF Macizo Estructura: Marco de madera (26 mm x 45 mm) Separación entre montantes Lana de Roca 26mm Panel 2: 1x9 mm MDF Macizo + 1x3 mm Alucobond									19	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M3	Panel 1: 1x6 mm Vidrio + acristalamiento de 3 vidrios Estructura: Marco de PVC (60 mm x 68 mm) Separación entre montantes cámara									25	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M4	Panel 1: 1x50 mm Pino									20	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M5	Panel 1: 1x15 mm MDF Macizo + 1x15 mm MDF Macizo + 1x20 mm MDF									21	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M6	Panel 1: 1x15 mm Plywood + 1x15 mm Plywood + 1x20 mm Plywood									21	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M7	Panel 1: 1x15 mm OSB (Tablero de Fibra)+ 1x15 mm OSB (Tablero de Fibra)+ 1x20 mm OSB (Tablero de Fibra)									21	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M8	Panel 1: 1x50 mm Cedar (Wester Red)									18	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)
M9	Panel 1: 1x15 mm Aglomerado de Madera (Alta densidad) + 1x15 mm Aglomerado de Madera (Alta densidad) + 1x20 mm Aglomerado de Madera (Alta densidad)									25	SOUND INSULATION PREDICTION (V9.0.20)

Propuesta digital 1

El prototipo digital 1 hace referencia al edificio Kiefer Technic Showroom, diseño 6, de acuerdo a juicio de expertos, para este se realiza módulos de 0.40m por 0.40m con una simetría rotatoria de triángulos, con sistema pivotante que le permite girar a cada elemento en su eje, en cuanto a la materialidad cuenta con estructura de PVC reciclado + acristalamiento con 3 vidrios de 60mm espesor con el ítem M3, en la figura 5 se observa la morfología, detalles constructivos, materialidad y la simulación de pérdida del sonido.

Figura 5

Características simulación prototipo 1

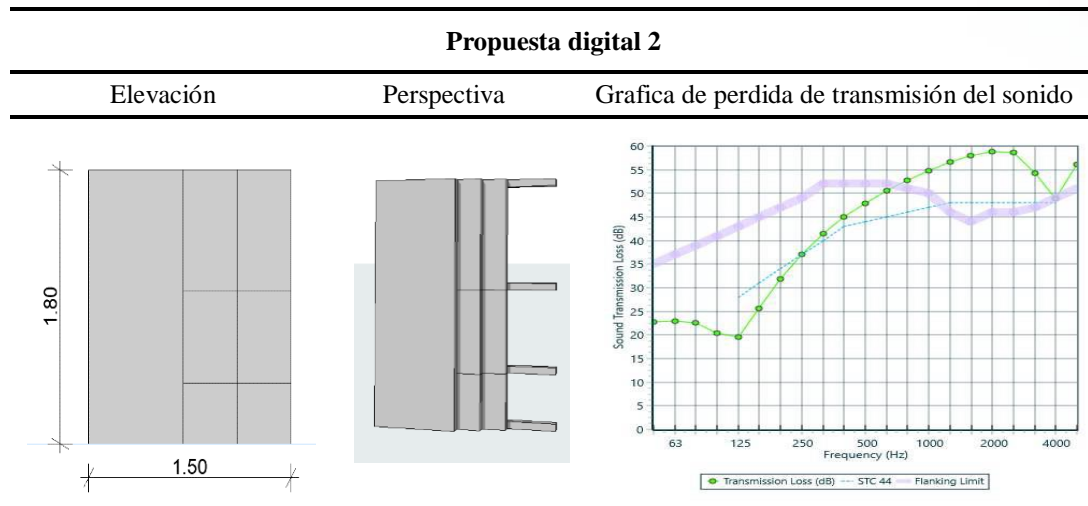


Propuesta digital 2

El prototipo digital 2 hace referencia al edificio St. Ingbert Town Hall, diseño 4, de acuerdo con el juicio de expertos, el diseño está basada en una trama rectangular de 1.50m x 1.80m con un sistema de superficies deslizantes, que cuenta con rieles para la movilidad de cada panel en cuanto a la materialidad cuenta con paneles de 5cm de espesor con el ítem M1, en la figura 6 se observa la morfología, detalles constructivos, y la gráfica de pérdida de transmisión del sonido.

Figura 6

Características simulación prototipo 2

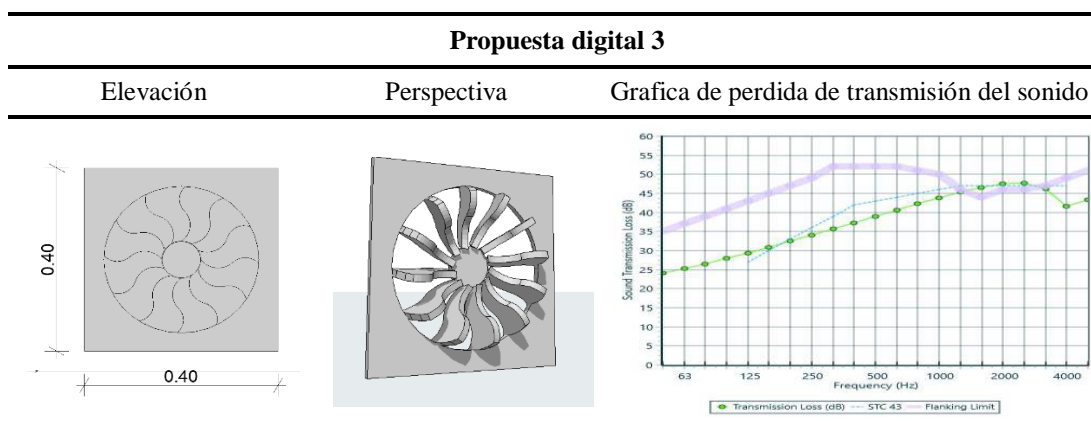


Propuesta Digital 3

El prototipo digital 3 hace referencia al edificio Media-TIC, Barcelona, de acuerdo con el juicio de expertos, su diseño se basa en una matriz circular que tiene como eje un círculo donde nacen sus ramales con una simetría giratoria, con un sistema de superficies pivotantes, en cuanto a la materialidad cuenta con paneles de 5cm de espesor con el ítem M9, en la figura 7 se observa la morfología, detalles constructivos, y la gráfica de pérdida de transmisión del sonido.

Figura 7

Características simulación prototipo 3



Discusión

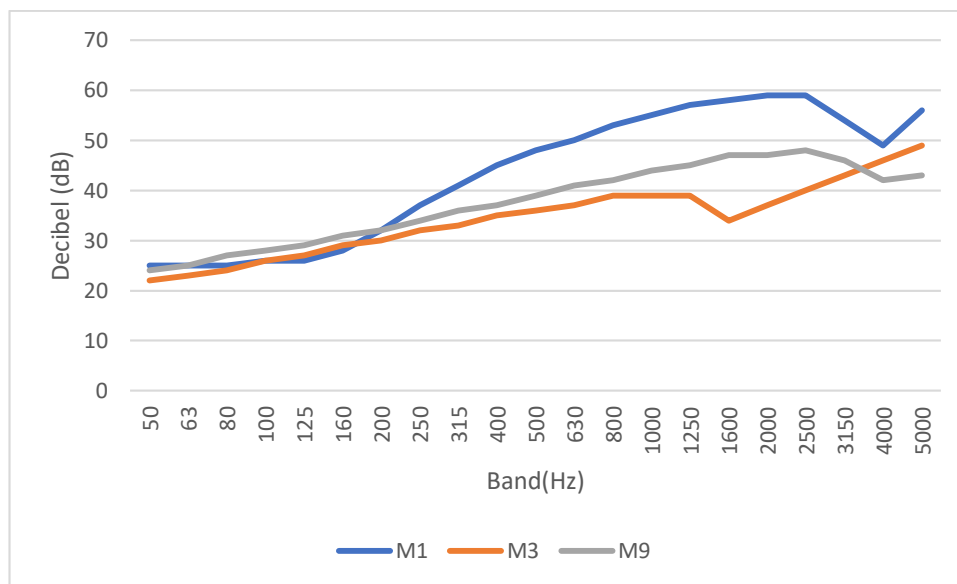
Las simulaciones propuestas de envolventes dinámicas corrigen las condiciones de confort acústico dentro del aula del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, Para el análisis se utilizó el software Sound Insulation Prediction (V9.0.20) este sirve para simular la pérdida de transmisión de sonido de los materiales, que para el caso de estudio los picos más altos se encuentran entre 65 dB a 78 dB y las frecuencias más bajas entre (60Hz-150Hz) que es el ruido vehicular.

En la figura 8 podemos apreciar que el ítem M9 tiene mayor pérdida de transmisión del sonido, pero su materialidad de solo aglomerado de alta densidad no se puede utilizar en el exterior, la propuesta 1 es la mejor opción ya que cuenta con panel 1: 1x6 mm Vidrio + acristalamiento de 3 vidrios y una pérdida de transmisión de sonido de 25 dB entre (50Hz-80hz) en donde se encuentra el ruido del tráfico que es de baja frecuencia.

En cuanto a la morfología de la envolvente se la representa de manera grafica de acuerdo con la propuesta 1.

Figura 8

Simulación de perdida de transmisión del sonido



En la figura 9 se muestra el diseño de envolvente construida en la fachada frontal, esta se manejará de acuerdo con la percepción y necesidades del usuario con un sistema manual de apertura y cierre, dando confort acústico a los estudiantes y mejor calidad en la enseñanza.

Figura 9

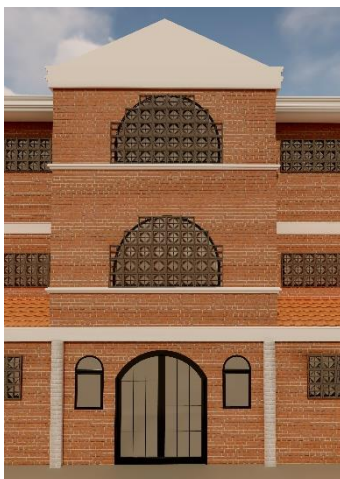
Estado Actual



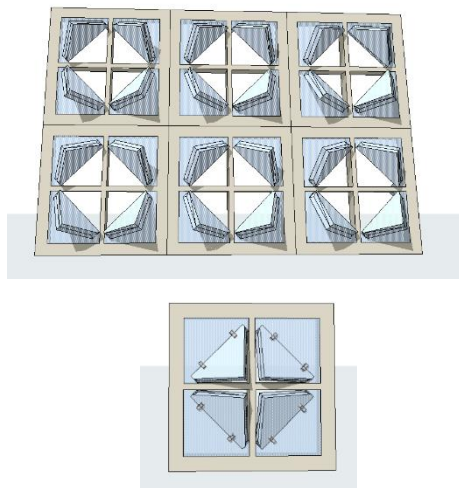
Diseño de Envolvente en Edificio



Perspectiva envolvente en edificio



Detalle envolvente aula 213



Detalle constructivo de envolvente

Conclusiones

- Los prototipos de envolventes dinámicas referidos son un aporte para las edificaciones educativas, reduciendo el ruido del tráfico en un 30%, hecho que se ha demostrado a través de las simulaciones mediante software, cambiando el ambiente interior. En un análisis individual de los prototipos planteados, se evidencia que el prototipo 3, no se puede utilizar para exteriores ya que es aglomerado de alta densidad no apto para lluvia, el prototipo 2 tiene un peso de 38.7 kg/cm² haciendo que el diseño de la estructura sea más costosa y pesada encareciendo la construcción de la misma, por ello, el prototipo 1 es el escogido con su estructura de PVC reciclado + acristalamiento con 3 vidrios, de 60mm espesor, dado su menor peso y facilidad de montaje.
- De acuerdo con la normativa el límite admisible para zonas hospitalarias y educativas en el día es de 45 dB y en la noche es de 35 dB en nuestro caso se reduce un 30% con materiales sugerido con un promedio de 41 dB cumpliendo para el horario diurno no obstante el horario nocturno sobrepasa los parámetros establecidos.
- Para culminar el estudio se pretende continuar con la segunda parte de la investigación realizando el prototipo de envolvente dinámica físicos a una escala real con los diseños y materiales sugeridos en el presente artículo.

Agradecimiento

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, vinculados al Proyecto de Investigación: INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA PARA LA CIUDAD DE CUENCA –ECUADOR, por ello, agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

Arkiplus. (s. f.). Aislantes acústicos. <https://www.arkiplus.com/aislantes-acusticos/>

- Buratti, C., & Merli, F. (2022). Sustainable Materials for the Thermal and Noise Insulation of Buildings: An Editorial. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4961, 14(9), 4961. <https://doi.org/10.3390/SU14094961>
- Carmenado Vaquero, L. (2016). Estímulos y reacciones: fachadas dinámicas ante el sol, el viento y la temperatura - Archivo Digital UPM [E.T.S. Arquitectura (UPM)]. <https://oa.upm.es/39236/>
- Carolina, A., Ugalde, L., Fajardo Dolci, G. E., Magaña, R. C., González, A. M., & Robles, M. I. (2000). Hipoacusia por ruido: Un problema de salud y de conciencia pública. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 43(2), 41–42. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=2762>
- Chang, T. W., Huang, H. Y., & Datta, S. (2019). Design and Fabrication of a Responsive Carrier Component Envelope. *Buildings* 2019, Vol. 9, Page 84, 9(4), 84. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9040084>
- Çolakkadıođlu, D., Yücel, M., Kahveci, B., & Aydınol, Ö. (2018). Determination of noise pollution on university campuses: a case study at Çukurova University campus in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 2018 190:4, 190(4), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S10661-018-6568-8>
- Goines, L., & Hagler, L. (2007). Noise pollution: A modern plague. *Southern Medical Journal*, 100(3), 287–294. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0B013E3180318BE5>
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment*, 165, 106396. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106396>
- Ishizuka, T., & Fujiwara, K. (2012). Traffic noise reduction at balconies on a high-rise building façade. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(3), 2110. <https://doi.org/10.1121/1.3682052>
- Johnsen, K., & Winther, F. v. (2015). Dynamic Facades, the Smart Way of Meeting the Energy Requirements. *Energy Procedia*, 78, 1568–1573. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.11.210>
- Kent C. Bloomer, C. W. M. R. J. Y. B. Y. (1977). *Body, Memory, and Architecture: Album*. Yale University Press. <https://yalebooks.yale.edu/9780300021424/body-memory-and-architecture>
- Koh, H. W., Le, D. K., Ng, G. N., Zhang, X., Phan-Thien, N., Kureemun, U., & Duong, H. M. (2018). Advanced Recycled Polyethylene Terephthalate Aerogels from

Plastic Waste for Acoustic and Thermal Insulation Applications. Gels 2018, Vol. 4, Page 43, 4(2), 43. <https://doi.org/10.3390/GELS4020043>

Martínez Gavilanes, J., Sellers Walden, C., Salgado Castillo, F., Carranco Zumba, S., & Espinoza Saquicela, D. (2018, noviembre 26). Ruido en Cuenca 2012-2018 | Universidad del Azuay Casa Editora. 1–48.
<https://publicaciones.uazuay.edu.ec/index.php/ceuzuay/catalog/book/95>

Méndez Martínez, Carlos Fernando. (2023). Polución acústica en las instalaciones de la Universidad Católica de Cuenca-centro histórico.

Monroy, Manuel Martín. (2006). Manual del Ruido: Vol. volumen IV (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, Ed.; Ayuntamiento de Las...). Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. <https://issuu.com/casilisto/docs/manual-4--ruido>

Ministerio de Educación. (2012). Estándares de Calidad Educativa.
https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/estandares_2012.pdf

Ministerio del Ambiente. (2003). *Limites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones*. Decreto N° 3.516 416
www.ambiente.gob.ec

Omar, D., Julia, M., Gobierno, E., & Descentralizado, A. (2015). Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 411–440. <https://doi.org/10.5377/CE.V8I1.2059>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (s. f.). Problemas de salud derivados de la contaminación acústica. <https://www.who.int/publications/es/>

Petraglia, L. (2018). Innovaciones en la biomimética. *Envolventes dinámicas*. *Arquitecto*, 0(11), 97–102. <https://doi.org/10.30972/ARQ.0114201>

Platzer M, U., Iñiguez C, R., Cevo E, J., & Ayala R, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 67(2), 122–128.
<https://doi.org/10.4067/S0718-48162007000200005>

Real Academia Española [RAE]. (2022). Definición de contaminación acústica - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE.
<https://dpej.rae.es/lema/contaminaci%C3%B3n-ac%C3%A1stica>

- Rasmussen, B. (2010). Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*, 71(4), 373–385.
<https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2009.08.011>
- Sánchez Mendieta, C. (2020, enero 4). 919 vehículos más se matricularon en Cuenca - Diario El Mercurio. 1–1. <https://elmercurio.com.ec/2020/01/04/919-vehiculos-mas-se-matricularon-en-cuenca/>
- Taghipour, A., Sievers, T., & Eggenschwiler, K. (2019). Acoustic Comfort in Virtual Inner Yards with Various Building Facades. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 249, 16(2), 249.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH16020249>
- Universidad Católica de Cuenca. (2001). Campus General Torres.
<https://www.ucacue.edu.ec/la-universidad/campus-universitario/sede-matriz/campus-general-torres/>
- Vardaxis, N. G., Bard, D., & Persson Waye, K. (2018). Review of acoustic comfort evaluation in dwellings—part I: Associations of acoustic field data to subjective responses from building surveys: 25(2), 151–170.
<https://doi.org/10.1177/1351010X18762687>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

