

COMPARACIÓN DE ENTREPISOS SISTEMA PLACA FACIL Y PLACA ESTERILLA DE
GUADUA-CONCRETO FRENTE AL RUIDO POR IMPACTO.

CAROL JULIETTE RODRIGUEZ AREVALO

LUIS OCTAVIO FERNANDEZ LEAL



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

PROYECTO DE GRADO

BOGOTA D.C 2017

COMPARACIÓN DE ENTREPISOS SISTEMA PLACA FACIL Y PLACA ESTERILLA DE
GUADUA-CONCRETO FRENTE AL RUIDO POR IMPACTO.

Presentado para optar por el título de
Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas

Coordinador PTCA
Arq. Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Docente de Proyecto
Arq. Andrea Niampira

CAROL JULIETTE RODRIGUEZ AREVALO

LUIS OCTAVIO FERNANDEZ LEAL



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

PROYECTO DE GRADO

BOGOTA D.C 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

Firma Director Trabajo de Grado

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Bogotá, Diciembre 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	10
2. ABSTRACT	11
3. INTRODUCCIÓN	12
4. FORMULACIÓN DEL PROYECTO	13
4.1 Formulación del problema	13
4.2 Hipótesis	14
5. JUSTIFICACIÓN	15
6. OBJETIVOS	16
6.1 General	16
6.1.1 Específicos	16
7. MARCO CONCEPTUAL	17
7.1 Sistema de placa de entrepiso	17
7.2 Aislamiento acústico en sistemas de entrepiso	17
7.3 Transmisión del sonido	17
7.5 Decibel	18
7.6 Reverberación	19
7.7 Tiempo de reverberación	20
7.8 Absorción del sonido	20
7.9 Transmisión acústica	20
7.10 El Ruido	21
7.10.1 Ruido aéreo	21
7.10.2 Ruido de impacto	22

8.	MARCO NORMATIVO	23
8.1	Ministerio de Salud.....	23
8.2	Icontec NTC 4944 Acústica	24
8.3	Resolución No. 8321 del 4 de Agosto de 1983	24
9.	MARCO TEORICO.....	25
9.1	Contaminación acústica nocturna.....	26
9.2	Comportamiento acústico en los sistemas de entrepiso.....	27
9.3	Sistemas constructivos aislantes al ruido.....	30
9.3.1	Propiedades físicas de los materiales acústicos	30
9.3.2	Materiales aislantes al ruido aéreo	31
9.3.3	Materiales aislantes al ruido de impacto	31
9.3.4	Materiales aislantes al ruido de vibraciones	31
9.3.5	Coefficiente de absorción.....	32
9.3.6	Materiales Porosos	32
9.4	Efecto del ruido de impacto en materiales constructivos	33
9.5	Protocolos de ensayo	35
9.5.1	Recintos.....	36
9.6	Ensayo a ruido de impacto.....	37
9.6.1	Definiciones	37
9.6.2	Disposiciones del Ensayo	43
10.	METODOLOGÍA	45
10.1	Línea de investigación	45
11.	GUADUA.....	46
11.1	Esterilla de bambú guadua.....	46
12.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	48

12.1 Placa fácil	48
12.1.1 Proceso constructivo	49
12.1.2 Dimensiones.....	51
12.2 Esterilla guadua-concreto	53
12.2.1 Proceso constructivo	54
12.3 Peso de los prototipos	57
13. ENSAYOS REALIZADOS	58
14. RESULTADOS	63
15. CONCLUSIONES	67
16. BIBLIOGRAFIA.....	69

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Reflexión de ondas sonoras</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 2: Escala Decibel.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 3: Mecanismo de absorción en poros</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 4: Imagen de transmisión del ruido aéreo entre recintos</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 5: Ruido de impacto.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 6: Efectos del ruido molesto en la sociedad</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 7: Entrepiso en bovedillas de hormigón</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 8: Entrepiso en bovedillas cerámicas</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 9: Entrepiso en bovedillas de hormigón 20 cm.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 10: Entrepiso en bovedillas de hormigón 25 cm.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 11: Entrepiso aligerado</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 12: Efecto del impacto de una losa H° de distinta terminación</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 13: Efecto del ruido de impacto con distintos cuerpos.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 14: Efecto del impacto de una losa con terminación blanda.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 15: Cámara acústica de ruidos por impacto</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 16: Límite de tolerancia de las curvaturas de las cabezas de los martillos</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 17: Máquina de impactos</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 18: Esterilla de guadua.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 19: Perfil colmena para sistema placa fácil</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 20: Bloquelon para sistema placa fácil</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 21: Malla electro soldada para sistema placa fácil</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 22: Instalación de perfiles y bloquelones sistema placa fácil.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23: Sistema de refuerzos para la placa fácil</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 24: Malla de refuerzo para placa fácil</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 25: Recubrimiento de concreto para placa fácil</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 26: Malla electro soldada para placa fácil</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 27: Preparación de concreto de 3000 psi.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 28: Vertimiento del concreto para placa fácil</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 29: Nivelación del concreto para placa fácil.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 30: Vigas en madera para sistema de entrepiso aligerado</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 31: Esterilla de guadua con poliuretano expandido.....</i>	<i>54</i>

<i>Ilustración 32: Malla electro soldada para entepiso guadua.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 33: Colocación de perfiles en madera.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 34: Esterilla de guadua sobre perfiles en madera.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 35: Conectores viga-guadua inclinados a 45°.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 36: Colocación malla electro soldada sobre esterilla de guadua</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 37: Malla electro soldada lista para fundir concreto.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 38: Vertimiento del concreto para sistema de entepiso esterilla de guadua.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 39: Entepiso esterilla de guadua totalmente fundido.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 40: Simulación caja anecoica.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 41: Posiciones del sonómetro dentro de la caja</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 42: Posición de los prototipos encima de la caja</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 43: Ensayo a sistema Placa fácil</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 44: Ensayo a sistema esterilla guadua-concreto</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 45: Grafica resultado sistema placa fácil.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 46: Grafica resultado sistema esterilla guadua-concreto</i>	<i>66</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Niveles sonoros máximos permisibles</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2: Resultado de los entrepisos ensayados en el laboratorio.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3: Coeficiente de absorción de algunos materiales</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4: Clasificación y uso de los sonómetros de acuerdo con su exactitud</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5: Peso prototipo sistema placa fácil.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 6: Peso prototipo esterilla de guadua.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 7: Resultados 1/3 Oct. Sistema placa fácil y Sistema esterilla de guadua.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 8: Resultados finales en decibeles sistema placa fácil.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9: Resultados finales en decibeles sistema esterilla de guadua</i>	<i>66</i>

1. RESUMEN

Esta monografía surge a partir del problema que existe hoy en día a la hora de construir viviendas utilizando placas de entrepiso tradicionales porque no hay parámetros y/o requisitos por cumplir frente a la acústica, pues debido al bajo costo y al rendimiento en las ejecuciones de las obras se está dejando de lado un tema que hoy en día se considera importante en la construcción ya que afecta la calidad de vida de las personas.

Teniendo en cuenta este problema se propone elaborar una comparación de dos diferentes tipos de placa de entrepiso frente al ruido por impacto por medio de ensayos normalizados, una placa de entrepiso que es el sistema Placa fácil, con una placa de entrepiso hecha en esterilla de guadua.

El sistema de entrepiso placa fácil tiene una gran competitividad en el mercado hoy en día por su fácil acceso, los tiempos de ejecución, y su bajo costo. El sistema de entrepiso en esterilla de guadua es un entrepiso que se está desarrollando dentro del grupo de investigación Hábitat, Tecnológico y Construcción HTC financiado por La Universidad La Gran Colombia, en el que participan estudiantes semillero de investigación.

Basándose en normas internacionales se busca comparar estos dos sistemas de placas de entrepiso evaluando el comportamiento de cada uno de los materiales. Para esto se realizara el procedimiento de ensayos descritos en la Norma ISO 140/8.

Palabras clave

Entrepiso Guadua, Placa Fácil, Aislamiento acústico, Ruido por impacto, Confort sonoro.

2. ABSTRACT

This monograph arises from the problem that exists today when it is built and that it does not serve as a parameter for execution in executions, the works are left behind the issue that today is considered important in the construction that affects the quality of life of people.

Taking into account this problem, it is presented to face the comparison of the different types of mezzanine plate against impact noise by means of standardized tests, a connection plate that is the Easy plate system, with a mezzanine plate made in Guadua form.

The easy plate mezzanine system has a great competitiveness in the market nowadays due to its easy access, the execution times and its low cost. The system of mezzanine and sterility of guadua is a venture that is part of the HTC Habitat, Technological and Construction research group funded by the Universidad La Gran Colombia, in which research seed students participate.

Based on international standards, it is sought to compare these two mezzanine flooring systems by evaluating the behavior of each of the materials. For this, the test procedure described in ISO 140/8 is carried out.

Keywords

Guadua mezzanine, Easy Plaque, Acoustic insulation, Impact noise, Sound comfort.

3. INTRODUCCIÓN

A pesar de que en Colombia no existe aún una normativa acústica que vaya de la mano con el diseño y la construcción, cada día es más alta la demanda de confort frente al ruido, por parte de los habitantes de las viviendas tradicionales en este país.

Una placa de entrepiso debería estar aislada al ruido aéreo y al ruido de impacto, principalmente al ruido de impacto debido a que los pisos y los techos en una edificación hacen parte de los elementos separadores que cuentan con mayor superficie de contacto y transmisión de sonido.

Por este motivo se pretende realizar un ensayo exclusivamente a ruido de impacto en dos diferentes tipos de placas de entrepiso para determinar si este tipo de componentes estructurales están afectando la calidad de vida de las personas, esto con el fin también de dar a conocer el comportamiento acústico de la guadua debido a sus características físicas.

Con el objeto de que las personas que están involucradas en el diseño y la construcción de viviendas tengan en cuenta los parámetros de la acústica.

Se pretende remarcar también que el tema del aislamiento a ruido de impacto no se desvincula totalmente del tema de aislamiento a ruido aéreo y de la resistencia mecánica de los entrepisos, debido a que estos factores determinan la intimidad de la vivienda respecto a las colindantes.

4. FORMULACIÓN DEL PROYECTO

4.1 Formulación del problema

La acústica es uno de los principales problemas en una vivienda, según Helmut Ramos Calonge en el artículo de la Revista UniSalle Vol 2 No. 4 Año 2011 en su edición “El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotermicidad, iluminación y acústica” en las viviendas que fueron objeto de estudio se pudo deducir que los ruidos de impacto son los más frecuentes, casi que todo el tiempo, esto demuestra que la materialidad de las viviendas no tienen una protección ante el ruido producido al interior de las mismas viviendas, se evidencia una problemática de ruidos de impacto a través de las losas de entrepiso.

El ruido de impacto es de carácter impulsivo y se genera como consecuencia de golpes y forzamientos sobre muros, columnas, vigas o demás elementos sólidos de una edificación. El medio directo de propagación del ruido de impacto es la estructura de las edificaciones (placas, columnas, vigas, muros). Mientras que el ruido aéreo, afecta los recintos colindantes, el ruido de impacto puede llegar a molestar a toda una edificación, ya que la energía comunicada a través de la estructura se transmite rápidamente a todo el elemento en contacto con esta (la velocidad del sonido en sólidos es hasta 20 veces más rápida que en el aire). Algunos casos típicos de ruido por impacto son: Taconeo, “chillido” al trasladar mobiliario, pisadas de zapatos, caídas de elementos como monedas y llaves, entre otros.

Por lo tanto es necesario realizar ensayos de laboratorio para medir el ruido de impacto de estos sistemas para tener claro que tipo de entrepiso es más eficiente y brinda un mejor confort a la vivienda.

4.2 Hipótesis

Es posible comparar la placa de entrepiso sistema Placa fácil y el entrepiso en Esterilla de guadua-concreto demostrando que este sistema contribuye al mejoramiento del confort acústico gracias a la porosidad de este material.

5. JUSTIFICACIÓN

Usualmente en Colombia se utilizan sistemas de placas de entrepiso de tipo: placa fácil, placa maciza, Steel deck, entre otros que no son evaluados frente al aislamiento acústico por lo que pueden presentar deficiencia. El ruido por impacto se considera hoy como un serio problema ya que los golpes con objetos macizos, correr muebles, zapatear, entre otros produce altos niveles de presión sonora que ocasiona molestias a las personas que habitan en la vivienda y que hacen parte del piso inferior de una edificación.

Las viviendas en Colombia cuentan con sistemas de placas de entrepiso de tipo (placa fácil, placa maciza, Steel deck, etc.) Los niveles de ruido por impacto de estos sistemas de entrepiso actualmente presentan deficiencia ya que en Colombia durante el proceso de diseño y construcción de las placas de entrepiso no se considera ningún tipo de normativa acústica. El ruido por impacto se considera hoy como un serio problema ya que los golpes con objetos macizos, correr muebles, zapatear, entre otros produce altos niveles de presión sonora que ocasiona molestias a las personas que habitan en la vivienda y que hacen parte de la parte inferior de una edificación.

Incluir la guadua dentro de la posible solución técnica a esta problemática aporta al desarrollo sostenible de la vivienda en Colombia, ya que este recurso beneficia también el contexto rural y el desarrollo ambiental en la sociedad. Cuenta con comportamientos favorables en los entresijos hasta ahora desarrollados (guadua rolliza, medio culmo, bahareque encementado).

6. OBJETIVOS

6.1 General

Construir dos prototipos de sistema de entrepiso, el primero sistema Placa fácil y el segundo sistema Esterilla de guadua-concreto y evaluar su comportamiento frente a los ensayos de ruido por impacto.

6.1.1 Específicos

1. Medir el nivel de ruido de impacto del sistema Placa fácil y sistema Esterilla de guadua-concreto
2. Comparar los resultados de las mediciones
3. Determinar cuál de los dos sistemas tuvo un desempeño óptimo frente a los ensayos realizados

7. MARCO CONCEPTUAL

7.1 Sistema de placa de entrepiso

Es el elemento que separa horizontalmente los diferentes niveles de una edificación y constituye a la vez el techo de uno de ellos (el inmediato inferior) y el piso del otro (inmediato superior). Las losas de entrepiso son elementos estructurales utilizados en la construcción con el fin de proporcionar superficies planas y útiles (Medina, 2016 p.1), cuando se diseña y se construye una losa de entrepiso no se tiene en cuenta el confort de esta ni las debilidades que tendrá en cuanto al tema acústico ya que el ruido será transmitido a través de este ya sea por vía aérea o por las vibraciones de la misma desde el piso superior, por esta razón los entrepisos serán el primer objeto de estudio en esta investigación.

7.2 Aislamiento acústico en sistemas de entrepiso

Las funciones que debe cumplir un entrepiso son la estructural como requisito básico de cualquier construcción independientemente de su materialidad y la estética. Además debe cumplir requisitos de aislación acústica, de manera que los sonidos de las pisadas o los ruidos al arrastrar objetos no se transmitan (o lo hagan lo menos posible) hacia el piso inferior.

7.3 Transmisión del sonido

Como bien se sabe el sonido como vibración necesita un medio para transmitirse, ya sea en un medio líquido, sólido o gaseoso. El vacío es la excepción para que no exista sonido ya que no posee un medio por el cual propagarse. A continuación se explican los conceptos más importantes para entender cómo se comportan las ondas propagadas dentro y fuera de las edificaciones.

7.4 Reflexión acústica

Una onda cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar se refleja (vuelve al medio del cual proviene).

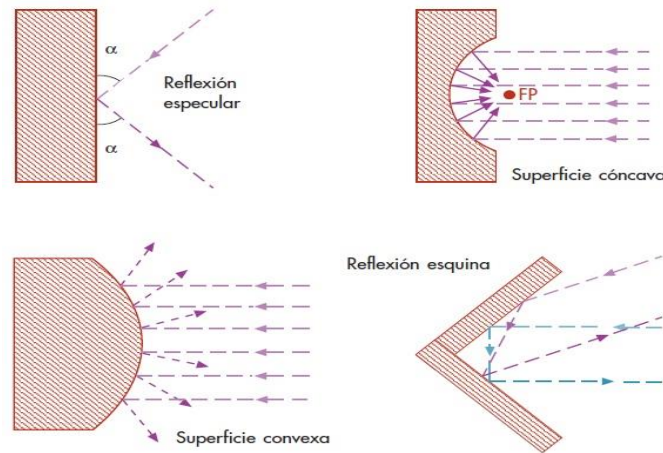


Ilustración 1: Reflexión de ondas sonoras

Fuente: Acústica de los espacios cerrados, 2001

7.5 Decibel

Expresada como “dB”, se define como una unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera el decibel es utilizado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora, es una forma de medir la amplitud del sonido. También se define el Decibel A o dB(A) el cual es una unidad de medida del ruido que toma en cuenta las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo auditivo (OGUC, 2006)

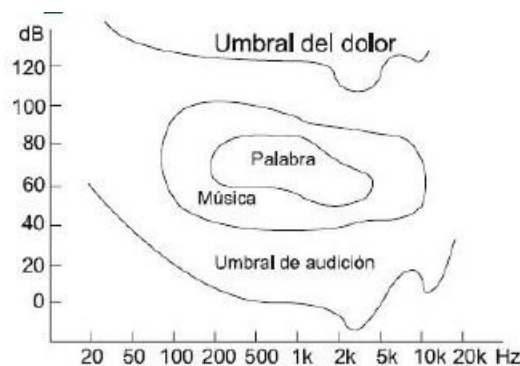


Ilustración 2: Escala Decibel

Fuente: Manual técnico de reglamentación acústica, OGUC, 2006

Es posible medir la amplitud del sonido por medio de una escala llamada “decibel”. El dB es una escala logarítmica y corresponde a la división en 120 rangos del tramo entre el límite audible y el umbral del dolor. En la figura se pueden ver los valores asociados del umbral de audición hasta el umbral del dolor. También se logra ver los valores asociados a su frecuencia en Hz, recordando que el oído humano normal solo puede percibir sensaciones sonoras de presión que oscilen con una frecuencia entre 16 y 20.000 Hz. Esto quiere decir que supera el umbral de audición y no excede la sensación del dolor (Fernández 2003).

7.6 Reverberación

La reverberación consiste en una permanencia del sonido en alguna superficie una vez que el emisor ha dejado de emitir el sonido. Para diferenciar entre el eco y la reverberación entendemos que el eco, es cuando el sonido es reflejado y es percibido por el receptor como por un segundo como una repetición única, en cambio la reverberación es cuando el sonido es reflejado y este mismo es reflejado por las reflexiones por medio de la superficie y esta modifica el sonido original. La permanencia del sonido aumenta en el local debido a la multiplicidad de reflexiones.

7.7 Tiempo de reverberación

Consiste en el tiempo que demora el proceso de reverberación y la extinción del sonido se usa este término, el tiempo en que demora el sonido en bajar de los 60 decibelios (dB) ya que en este se tiene la sensación auditiva que el sonido se ha extinguido. Este tiempo depende de lo absorbente o reflectante que sean las superficies, si el material es absorbente. El tiempo de reverberación de un sonido depende del tamaño y forma de una habitación como los materiales del que está hecho.

7.8 Absorción del sonido

Es la propiedad que poseen los materiales, estructuras y objetos de convertir el sonido en calor, dando como resultado la propagación en un medio o la disipación cuando el sonido golpea una superficie (Harris, 1995 pg. 21).

7.9 Transmisión acústica

En muchos obstáculos planos (paredes o pisos de los edificios) una parte de la energía se transmite al otro lado del obstáculo. La suma de la energía reflejada, absorbida y transmitida es igual a la energía sonora incidente (original).

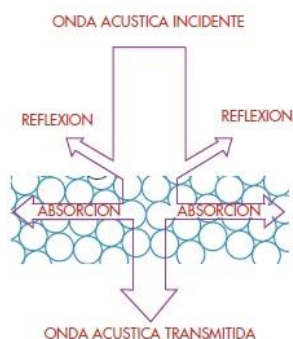


Ilustración 3: Mecanismo de absorción en poros

Fuente: Acústica de los espacios cerrados, 2001

7.10 El Ruido

El sonido se define como una sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire. Un sonido puede ser agradable para algunas personas, mientras que para otras puede significar un sonido molesto o desagradable, transformándose ese sonido en “ruido”, por lo que el ruido, en sentido general, se puede definir como un “sonido indeseado” o “sonido fuerte, indeseado o inesperado”. La diferencia entre sonido y ruido es absolutamente subjetiva y depende de factores como las circunstancias que se den, el estado anímico o la opinión subjetiva de quien lo escucha, entre otros. No existe una distinción física entre sonido y ruido.

Los ruidos que afectan al interior de una vivienda se pueden clasificar según su origen básicamente en dos tipos. El primero es aquel que proviene del exterior, siendo las principales fuentes de ruido el tráfico rodado, el tráfico aéreo, las actividades industriales, las actividades comunitarias, etc. Mientras que el segundo es aquel que se origina en el interior de las viviendas, siendo las principales fuentes de ruido las actividades realizadas por los mismos residentes (conversaciones, pasos, saltos, movimientos de objetos), etc.

7.10.1 Ruido aéreo

Es aquel que se genera por la perturbación del aire que rodea a fuentes sonoras. Las ondas sonoras originadas chocan contra otras superficies, entrando estas en vibración y perturbando de nuevo el aire que las rodea. De esta forma se origina un nuevo foco de emisión sonora.

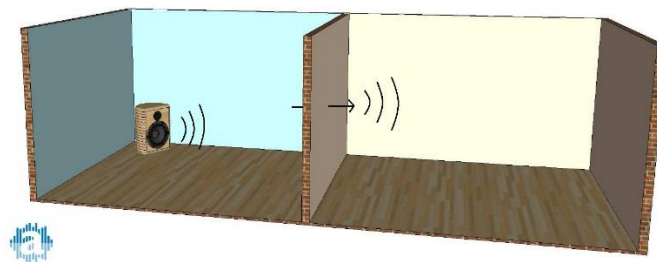


Ilustración 4: Imagen de transmisión del ruido aéreo entre recintos

Fuente: <http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-tipos-de-ruido-en-edificacion/>

7.10.2 Ruido de impacto

Es aquel que se genera por los golpes que se producen en una superficie, generalmente un entrepiso. Al golpear la superficie, esta entra en vibración y de nuevo se genera un poco sonoro. La vibración de la superficie puede ser transmitida a otras superficies, debido a la rigidez de los elementos constructivos del edificio, originándose nuevos focos de emisión sonora. Se mide en decibeles (dB) y su nomenclatura es L_n que significa Nivel de ruido de impacto normalizado, que es nivel de ruido producido por la máquina de impactos normalizada



Ilustración 5: Ruido de impacto

Fuente: <http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-tipos-de-ruido-en-edificacion/>

8. MARCO NORMATIVO

8.1 Ministerio de Salud

La resolución 8231 del 4 de agosto de 1983 del ministerio de salud habla acerca de las normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. En el capítulo 2, artículo 17 dice que, para prevenir y controlar las molestias, las alteraciones y las pérdidas auditivas ocasionadas en la población por la emisión de ruido, se establecen los niveles sonoros máximos permisibles (ver tabla No. 1).

ZONAS RECEPTORAS	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN Db(A)	
	Periodo Diurno 7:01AM - 9:00PM	Periodo Nocturno 9:01PM - 7:00AM
ZONA I Residencial	65	45
ZONA II Comercial	70	60
ZONA III Industrial	75	75
ZONA IV De Tranquilidad	45	45

Tabla 1: Niveles sonoros máximos permisibles

Fuente: Ministerio de salud

La norma NCh2864-2004 de Chile adaptada de la norma internacional ISO 140/6 determina la infraestructura para ensayos a ruidos aéreos y de impacto, sin embargo solo nos limitaremos a referirnos únicamente a la infraestructura de una cámara para ensayos a ruidos de impacto.

8.2 Icontec NTC 4944 Acústica

Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción en Colombia.

8.3 Resolución No. 8321 del 4 de Agosto de 1983

Por la cual se dictan normas sobre Protección y Conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.

9. MARCO TEORICO

Contaminación Acústica: Cuando se habla de contaminación acústica como el resultado del ruido o sonidos molestos, no ocupa los primeros lugares en las denuncias sociales. La suciedad, el tráfico o la contaminación de las aguas se encuentran antes en la preocupación ciudadana. En parte porque el ruido ha tenido incluso en otros tiempos, una valoración positiva como algo consustancial a las sociedades modernas y dinámicas. Una sociedad ruidosa era una sociedad viva. Hoy esta concepción esta ya superada, y la expresión contaminación acústica no solo tiene plena vigencia si no que ha dado lugar a estudios para su conocimiento y delimitación.

Los ruidos y no los sonidos se han convertido en un componente presente y habitual de la convivencia en las sociedades modernas. Lo que debería ser mensajes sonoros necesarios y agradables en los distintos ámbitos que constituyen la vida en la sociedad han aumentado progresivamente su volumen, frecuencia y duración, creando un ambiente ruidoso que se extiende prácticamente a todos los espacios de convivencia y a todos los momentos del día. El resultado es una situación de contaminación acústica generalizada de cuya causalidad nadie puede sentirse ajeno. Desde luego que no todos somos igualmente ruidosos, pero en mayor o menor grado, todos actuamos como agentes contaminantes y sufrimos por igual sus efectos perjudiciales. Las causas de la contaminación acústica pueden ser tan variadas como el ladrido de un perro hasta el paso de un avión comercial, el gran abanico de posibles fuentes emisoras es tan amplio que es necesario clasificarlos para poder aplicar la normativa según cada situación específica; ya sea por fuentes emisoras fijas para locales de uso público, emisión de ruidos por locomoción colectiva, condiciones según el lugar de trabajo, etc.

La necesidad de minimizar la contaminación por ruido en todas sus formas con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas y reducir los riesgos para la salud es reconocida por

todos, inclusive por el Departamento de Salud y el Departamento del Ambiente. El ruido ha llegado a ser un problema porque progresivamente interfiere con la existencia normal y que el ruido producido por los efectos de impacto afecta a las personas que se encuentran en las edificaciones que cuentan con placas de entrepiso hechas en sistemas de entrepiso tradicionales.

El ruido es la fuente más común de perturbación. Tales efectos están relacionados con el nivel del ruido y dependen de la dosis del mismo. Se observan cambios demostrables a partir de los 45dB(A) en casi todos los estudios, mientras más alto sea el nivel de ruido mayor será el daño. La mayoría de las personas concluyen que un nivel “aceptable” de ruido se encuentra entre los 35 y 45dB(A). Este nivel es significativamente inferior al que están expuestas muchas personas.

De acuerdo con el conocimiento existente hasta el momento los principales efectos nocivos del ruido son:

1. Disminución de la capacidad auditiva
2. Perturbación del descanso y del sueño
3. Efectos mentales y de rendimiento
4. Irritación en los hogares
5. Interferencia con las labores cotidianas

9.1 Contaminación acústica nocturna

En el año 2009 en la revista “CHEST” se analizaron diferentes estudios sobre los efectos de la interferencia y la privación de las horas de sueño. Se concluyó que las personas podrían desarrollar enfermedades como insomnio crónico, ansiedad, astenia (fatiga, cansancio crónico),

depresión somnolencia diurna, mermas importantes en su capacidad cognitiva y de concentración.

En la siguiente imagen se ve un resumen de los variados daños perjudiciales a la salud por ruidos molestos.



Ilustración 6: Efectos del ruido molesto en la sociedad

Fuente: Revista “El ruido deja en silencio al planeta”, “Ciencia y trabajo” No. 20

Evidentemente la exposición a ruidos es variable y no es la misma en cada situación, existen casos netamente laborales y otros que dependen del lugar de residencia y su cercanía a fuentes emisoras de ruidos molestos. Pero a modo de conclusión queda clara la relevancia de este tema y cómo puede afectar la calidad de vida de la población mundial. De hecho la directora de la Organización Mundial de la Salud considera que la contaminación acústica en las ciudades es la segunda causa de enfermedad por motivos medioambientales siendo la polución atmosférica la primera causa (OMS, 2006).

9.2 Comportamiento acústico en los sistemas de entrepiso

Entrepiso en bovedillas de hormigón

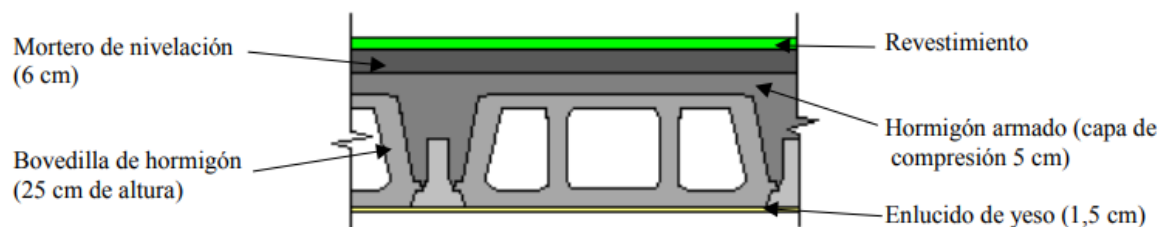


Ilustración 7: Entrepiso en bovedillas de hormigón

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

Entrepiso en bovedillas cerámicas

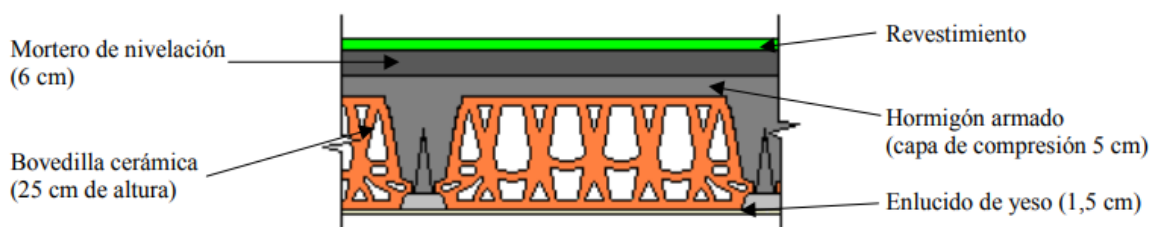


Ilustración 8: Entrepiso en bovedillas cerámicas

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

Entrepiso en losa de hormigón 20cm

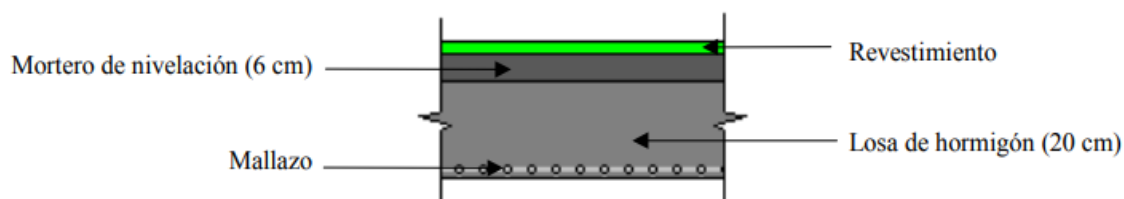


Ilustración 9: Entrepiso en bovedillas de hormigón 20 cm

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

Entrepiso en losa de hormigón 25cm

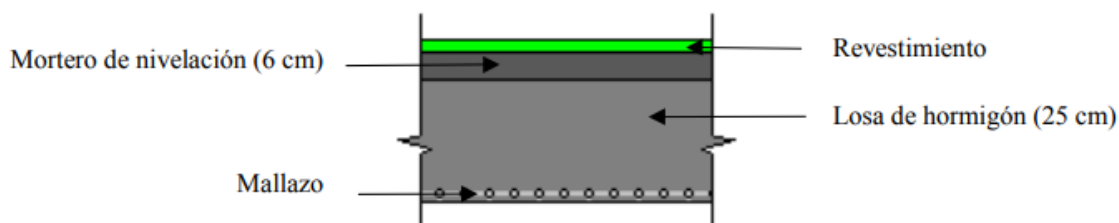


Ilustración 10: Entrepiso en bovedillas de hormigón 25 cm

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

Entrepiso aligerado

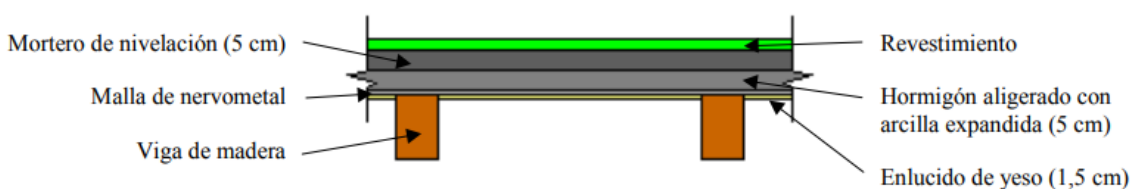


Ilustración 11: Entrepiso aligerado

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

Dada la singularidad que presenta el laboratorio de poseer cámaras móviles de ensayo que permite almacenar el entrepiso una vez ensayado y realizar modificaciones constructivas sobre el mismo, se han ensayado los forjados anteriormente descritos con diferentes revestimientos. En primer lugar se ha realizado un grupo de ensayos utilizando como revestimientos soluciones tradicionales como son parquet, terrazo y tarima sobre rastrel. En segundo lugar se ha realizado otro conjunto de ensayos orientado a determinar la mejora que aporta a los revestimientos tradicionales otro tipo de soluciones como son la tarima flotante y un falso techo de yeso laminado desconectado del forjado con cámara de aire intermedia.

	R (A)						Ln (A)				
	Parqué	Terrazo	Tarima flotante	Tarima sobre rastrel	Tarima sobre rastrel y falso techo	Sin revestimiento	Parqué	Terrazo	Tarima flotante	Tarima sobre rastrel	Tarima sobre rastrel y falso techo
Forjado bovedillas cerámicas	55,5	55,6	56,9	52,8	63,4	53,4	83,5	82,1	61,6	73,9	57,1
Forjado bovedillas hormigón	58,4	60,9	---	56	64,6	---	79,6	86,7	60,2	68,9	55,6
Forjado losa hormigón 20 cm	64,1	63,6	61,7	59,3	72,2	---	68,5	69,6	57,7	64,9	48,9
Forjado losa hormigón 25 cm	65,9	---	64,8	---	---	---	66,2	---	54,5	---	---
Forjado ligero	46,7	53	44,5	41,7	54,7	---	85	89,4	74,8	81,1	63,8
Losa hormigón 15 cm	---	---	---	---	---	54,8	---	---	---	---	---

Tabla 2: Resultado de los entrepisos ensayados en el laboratorio

Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2575/es_2151/adjuntos/tecniacustica_2002.pdf

9.3 Sistemas constructivos aislantes al ruido

El aislamiento acústico es la capacidad de un elemento o solución constructiva para atenuar el paso del sonido de un recinto a otro (OGUC, 2006). Por lo tanto se define un sistema constructivo aislante al ruido como el conjunto de elementos y materiales constructivos ordenados para atenuar el paso del sonido de un recinto a otro. Es por esto que la aislación acústica no solo depende los materiales empleados sino de la forma en que se construye, se debe tener en cuenta el elemento divisorio entre los dos espacios y también las uniones de este con los muros laterales, cielos y pisos del recinto.

9.3.1 Propiedades físicas de los materiales acústicos

El mercado de la construcción hoy en día se encuentra repleto de distintos materiales aislantes, las nuevas tecnologías han permitido avanzar en este proceso produciendo cada vez nuevos y mejores productos. Se debe mencionar que no todos los materiales actúan de la misma manera, existe una variación en su uso dependiendo del tipo de ruido que se quiere aislar.

En el manual de aislamiento acústico en la edificación de chovACUSTIC, empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos para la construcción con prestigio

internacional, define las propiedades físicas que deben tener los materiales para determinado tipo de ruido.

9.3.2 Materiales aislantes al ruido aéreo

Siendo la densidad proporcional al aislamiento, los valores adecuados se aproximan a los 600 Kg/m³ para la densidad del material. Su porosidad debe ser nula para evitar que el material absorba la energía acústica. Esta característica está relacionada con el coeficiente de absorción acústica. Los valores adecuados de este coeficiente se consideran cercanos a 0. También se recomienda una alta elasticidad y elevado factor de pérdidas.

9.3.3 Materiales aislantes al ruido de impacto

Considera la rigidez dinámica, asociada al rango de frecuencias en las que el material es efectivo en la atenuación del ruido de impacto. Cuando menor sea el valor de rigidez dinámica, mayor será la atenuación del ruido de impacto. Valores adecuados se consideran alrededor de 20 MN/m³. El espesor del material se asocia al rango de frecuencias, cuanto mayor sea el espesor del material menor será la frecuencia de resonancia del sistema y previsiblemente mayor será la atenuación al ruido de impacto. Estos materiales deben tener también una buena resistencia a la compresión, ya que se asocia a la resistencia de deformación o pérdida de espesor producida por una carga repetida e forma uniforme.

9.3.4 Materiales aislantes al ruido de vibraciones

Deben ser materiales con buena rigidez dinámica para atenuar las vibraciones. También se miden sus factores de pérdida asociados a disipar la energía mecánica, los valores óptimos están en 0,3.

9.3.5 Coeficiente de absorción

La Absorción es una de las propiedades más importantes de los materiales aislantes, ya que las ondas reflejadas dan origen a la reverberación que crea un ambiente mal acondicionado acústicamente. La absorción reduce la energía de las reflexiones al transformarla en otras formas de energía, generalmente calor o movimiento. El coeficiente entre la cantidad de energía absorbida y el incidente se denomina Coeficiente de absorción al sonido del material, representado por la letra griega Alfa. Debido a la gran diferencia de tamaños que presentan las longitudes de onda audibles (desde los 17mm hasta los 17 metros aproximadamente), los materiales no suelen absorber por igual todas las frecuencias. Por ello el coeficiente de absorción se expresa en función de la frecuencia, ya sea en bandas de octava y/o tercio de octava (Montejano, 2000).

Material/ Dispositivo	Descripción	Densidad [kg/m ³]	Espesor [mm]	Coeficiente de absorción sonora					
				Frecuencia central por banda de octava [Hz]					
				125	250	500	1000	2000	4000
Alfombra	Alfombra sobre pared	-	10	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37
Alfombra	Alfombra pesada sobre goma espuma	-	-	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Alfombra	Alfombra media sobre base espumosa	-	6	0,03	0,09	0,25	0,31	0,33	0,44
Fibra	Placas de fibra 16 mm (Armstrong, Minaboard)	-	16	0,30	0,32	0,54	0,74	0,67	0,60
Lana de vidrio	Placas lana de vidrio con lámina vinilo sin perforar	-	16	0,57	0,39	0,41	0,82	0,89	0,72
Hormigón	Bloque de hormigón grueso	-	-	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Hormigón	Bloque de hormigón pintado	-	-	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Mármol	Losa de mármol	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ladrillo	Ladrillo liso con mezcla al ras	-	-	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Hormigón	Hormigón pintado	-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Hormigón	Hormigón Suavizado sin pintar	-	-	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Madera	Parquet de madera sobre hormigón	-	-	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

Tabla 3: Coeficiente de absorción de algunos materiales

Fuente: Base de datos de chovACUSTIC, 2013

9.3.6 Materiales Porosos

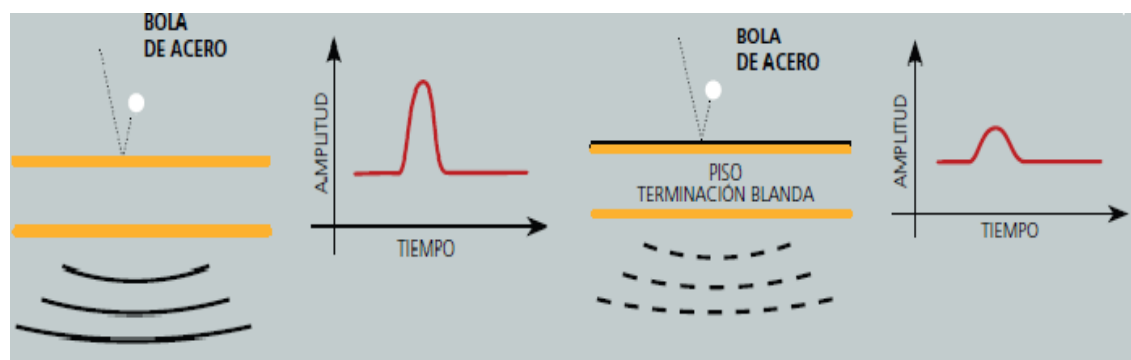
En estos materiales las ondas sonoras penetran en los orificios y el roce de las partículas de aire contra las paredes internas del material provoca una reducción en su movimiento,

transformando la energía acústica en calor. Alfombras, moquetas, cortinas, tapices, ropa... todos estos son materiales porosos que absorben las altas frecuencias, y su presencia no debe ser obviada. Los materiales acústicos profesionales suelen construirse a partir de espumas con esqueleto rígido. Los poros de la espuma provocan la absorción por fricción, y el hecho de contar con un esqueleto rígido aumenta este efecto: cuanto menor es el movimiento de las partículas del material mayor es el movimiento relativo del aire contra ellas, y por tanto mayor es la absorción (Montejano, 2000).

9.4 Efecto del ruido de impacto en materiales constructivos

Uno de los objetivos de esta investigación es cuantificar y determinar la magnitud del ruido de impacto en distintos materiales y soluciones constructivas. Para esto debemos conocer el mecanismo de transmisión del ruido de impacto en una superficie horizontal determinada. Analizaremos la superficie mediante un ejemplo estudiado y realizado el 2008 por la sección de habitabilidad del IDIEM de la Universidad de Chile.

Primero se considera una losa de Hormigón armado de espesor definido y una masa de impacto (bola de acero). La fuerza de éste sobre la losa dinámica se produce por el repentino descenso de la Velocidad de la masa a cero. En el caso de un suelo duro, el cambio de Velocidad será rápido generando un pulso de fuerza de gran amplitud y escasa duración. En el caso de que la superficie sea resiliente o blanda, el pulso de la fuerza ocasionado será de menor amplitud, pero una duración más extensa. (IDIEM, 2008)



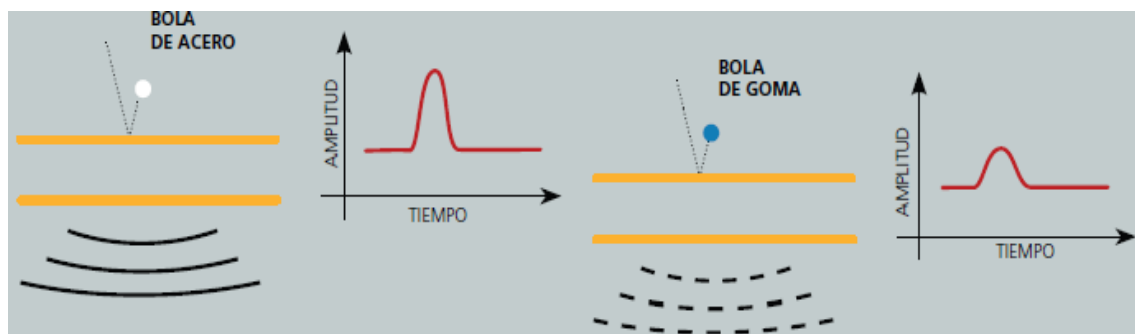
Fuente

:

Ilustración 12: Efecto del impacto de una losa H° de distinta terminación

Aislamiento acústico al Ruido de impacto, IDIEM 2008

Como una situación análoga de lo expuesto, se consideró para la losa de Hormigón dos bolas que la impactan, una de acero y otra de goma. La idea es demostrar el efecto del ruido de impacto causado por un cuerpo de distinta densidad en un mismo tipo de suelo.



Fuente

:

Aislam

iento

Ilustración 13: Efecto del ruido de impacto con distintos cuerpos acústico al Ruido de impacto, IDIEM 2008

Aunque las dos se proyecten con la misma fuerza, la respuesta acústica de la losa frente a la bola de acero será mucho más sonora. Por lo anterior, el impacto de la masa sobre el suelo duro produce un espectro rico en frecuencias altas, en tanto que en el otro caso solo se producen frecuencias bajas.

Si dividimos la losa en dos capas y colocamos un material resiliente entre éstas, tendremos que la respuesta vibratoria de la capa superior es amortiguada cuando se transmite hacia la capa inferior, generando una disminución del ruido transmitido (Figura 11). La capacidad de amortiguamiento y resiliencia del material interpuesto depende además del espesor en que se

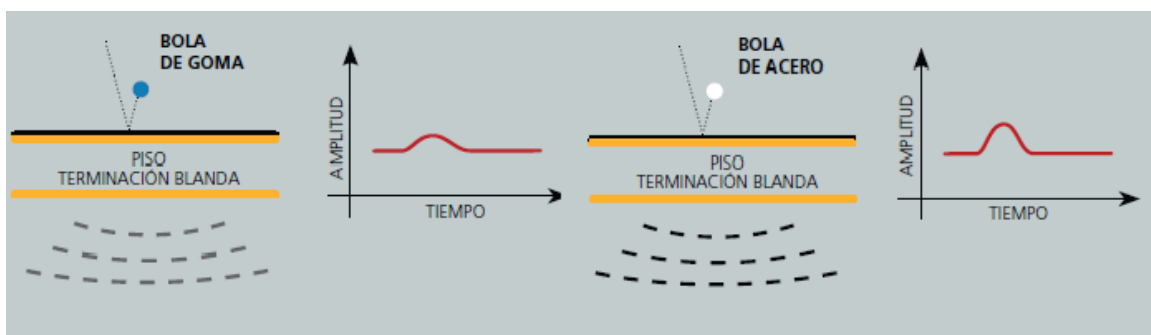


Ilustración 14: Efecto del impacto de una losa con terminación blanda

aplique. La ventaja de realizar esta intervención es que podemos despreocuparnos un poco de lo que suceda en la superficie de la losa.

Fuente: Aislamiento acústico al Ruido de impacto, IDIEM 2008

Otra forma de mejorar esta condición sonora es instalando estructuras de cielo en la superficie inferior de la losa. En términos acústicos suele ser la intervención menos eficiente, ya que el fenómeno vibro acústico al interior de la losa es propagado en forma lateral hacia los muros del edificio, dando como resultado la transmisión de ruido por parte de estos elementos verticales hacia el recinto inferior, por lo que el material usado como aislante pierde relevancia.

Las soluciones más eficientes consisten en usar materiales de terminación, ya sean alfombras, pisos flotantes u otros similares debido al efecto de absorción y amortiguación que producen.

9.5 Protocolos de ensayo

El laboratorio de transmisión sonora de impacto consiste en dos salas verticalmente adyacentes, una sala emisora (Sala superior) y otra receptora (Sala inferior). La sala receptora debe ser reverberante y tener una abertura de ensayo en su techo donde es construida la muestra, sobre la cual se instala la máquina de impactos normalizada (Suarez & Vergara, 1995).

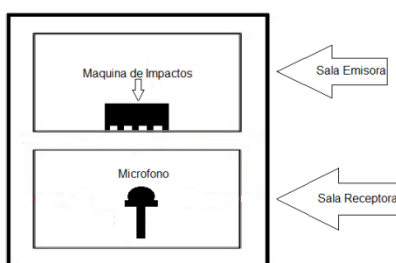


Ilustración 15: Cámara acústica de ruidos por impacto

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

9.5.1 Recintos

El volumen del recinto de recepción no debe ser menor que 50 m³. Las razones de las dimensiones del recinto de recepción se deben escoger de modo que las frecuencias modales en las bandas de baja frecuencia estén espaciadas tan uniformemente como sea posible. Si es necesario, se deben instalar elementos difusores en el recinto de recepción para así obtener un campo acústico difuso.

Tanto los cálculos teóricos como algunos experimentos han demostrado que puede ser aconsejable que el espécimen cubra el total del cielo raso del recinto de ensayo, es decir, la abertura de ensayo se debería extender de muro a muro. En tal caso, es apropiado un volumen entre 50 m³ y 60 m³, considerando el tamaño recomendado de la abertura de ensayo.

El tiempo de reverberación en el recinto de recepción bajo condiciones normales de ensayo (con especímenes de ensayo con absorción despreciable) no debería ser excesivamente largo o corto. Cuando en baja frecuencia el tiempo de reverberación supere 2 s, o si es menor a 1 s, se debe verificar si la aislación acústica al impacto depende del tiempo de reverberación. Cuando se encuentre dicha dependencia, aún con difusores en el recinto, el recinto se debe modificar para ajustar el tiempo de reverberación, T , en segundos, en baja frecuencia como sigue:

$$1 \text{ s} \leq T \leq 2 (V / 50)^{2/3} \text{ s}$$

En que:

V = volumen del recinto, expresado en metros cúbicos (m³).

El nivel de ruido de fondo en el recinto receptor debe ser lo suficientemente bajo para permitir mediciones del sonido de impacto transmitido, considerando las propiedades de la máquina de impacto y la aislación acústica del espécimen para el cual la instalación está

diseñada. La aislación acústica aérea entre el recinto de recepción y el recinto de emisión debe ser lo suficientemente alta de manera que el campo acústico medido en el recinto de recepción sea sólo el generado por la excitación del impacto del piso bajo ensayo.

9.6 Ensayo a ruido de impacto

En la Norma ISO 140/6 se especifican las mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos, mediante el uso de una máquina de impactos normalizada. Este método es aplicable tanto a suelos desnudos como a suelos con recubrimientos. Los resultados obtenidos se pueden utilizar para comparar el aislamiento acústico al ruido de impactos de suelos y para clasificar los suelos de acuerdo a sus capacidades de aislamiento acústico a este tipo de ruidos.

9.6.1 Definiciones

- 1. Nivel medio de presión sonora en un recinto (L):** Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio temporal y espacial del cuadrado de la presión sonora, y el cuadrado de la presión sonora de referencia, tomando el promedio espacial sobre todo el recinto con la excepción de aquellas partes donde la radiación directa de la fuente sonora o el campo cercano de los límites del recinto (paredes, etc.) tengan una influencia significativa; se expresa en decibelios.

Si se utiliza un micrófono en movimiento continuo, L se determina mediante:

Ecuación

1:

$$L = 10 \lg \frac{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} p^2(t) dt}{p_0^2} \text{ dB}$$

Dónde:

- p es la presión sonora, en pascales;
- p_0 es la presión sonora de referencia y es igual a 20 μPa ;
- T_m es el tiempo de integración, en segundos.

Si se utilizan posiciones de micrófono fijas, L se determina mediante:

Ecuación 2:

$$L = 10 \lg \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n \cdot p_0^2} \text{ dB}$$

Donde $p_1, p_2, \dots, p_n$ son los valores r.m.s. de la presión sonora en n posiciones diferentes en el recinto. Generalmente, en la práctica, se miden los niveles de presión sonora L_j . En este caso L se determina mediante:

Ecuación 3:

$$L = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{ dB}$$

Donde L_j es el nivel de presión sonora de L_1 a L_n en n posiciones diferentes del recinto.

2. **Nivel de presión de ruido de impactos (L_i):** Es el nivel de presión sonora medio en banda de un tercio de octava en la cámara receptora cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada; se expresa en decibelios.

- 3. Nivel de presión de ruido de impactos normalizado (L_n):** Es el nivel de presión de ruido de impactos L_i aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción equivalente medido A de la cámara receptora y el área de absorción equivalente de referencia A_0 ; se expresa en decibelios

Ecuación 4:

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

Donde $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Ensayos de medición mediante el uso de la máquina de impactos:

La máquina de impactos deberá tener cinco martillos situados en línea. La distancia entre los ejes de martillos vecinos deberá ser de $(100 \pm 3) \text{ mm}$.

La distancia entre el centro de los soportes de la máquina de impactos y las líneas centrales de martillos vecinos deberá ser de al menos 100 mm. Los soportes deberán estar equipados con pies aislantes de vibraciones.

El momento de cada martillo que golpea el suelo deberá ser igual al de una masa de 500 g que cae libremente desde una altura de 40 mm con unos límites de tolerancia para el momento de $\pm 5\%$. Como se ha de tener en cuenta la fricción en la guía del martillo, se debe asegurar que no sólo la masa del martillo y la altura de caída, sino también la velocidad de la cabeza del martillo en el momento del impacto se encuentren dentro de los siguientes límites:

La masa de cada martillo deberá ser de (500 ± 12) g de lo que se deduce que la velocidad del impacto deberá ser $(0,886 \pm 0,022)$ m/s.

Los límites de la tolerancia de la velocidad se pueden aumentar hasta un máximo de $\pm 0,033$ m/s siempre que se asegure que la masa del martillo se mantenga dentro de los límites reducidos de (500 ± 6) g.

La dirección de caída del martillo deberá ser perpendicular a la superficie de ensayo con un margen de $\pm 0,5^\circ$.

La parte del martillo que golpea el suelo deberá ser cilíndrica con un diámetro de $(30 \pm 0,2)$ mm. La superficie de impacto deberá ser de acero endurecido y esférica con un radio de curvatura de (500 ± 100) mm. La comprobación de estos requisitos se puede realizar de las siguientes maneras:

- a. La curvatura de la superficie de impacto se considera que cumple con las especificaciones si los resultados de las mediciones están dentro de las tolerancias dadas en el grafico 3 cuando se mueve un medidor sobre la superficie en al menos dos líneas perpendiculares entre sí, a través del punto central.

Las curvas en el grafico 3 describen una curvatura de 500 mm. La distancia entre las curvas es la menor que permite tanto radios de 400 mm como de 600 mm y que cae dentro de los límites de tolerancia. La precisión de la medida deberá ser de al menos 0,01 mm.

- b. La curvatura de las cabezas de los martillos puede ser ensayada utilizando un esferómetro con 3 apoyos comprendidos en un círculo de 20 mm de diámetro.

La máquina de impactos deberá ser autopropulsada. El tiempo medio entre impactos deberá ser de (100 ± 5) ms. El tiempo entre impactos sucesivos deberá ser de (100 ± 20) ms. El tiempo entre el impacto y la elevación del martillo deberá ser inferior a 80 ms.

Para máquinas de impactos normalizadas que sean utilizadas en ensayos de aislamiento acústico de ruido de impactos de suelos con revestimientos blandos o superficies irregulares se debe asegurar que es posible que los martillos caigan al menos 4 mm por debajo del plano sobre el que descansan los soportes de la máquina de impactos.

Todos los ajustes de la máquina de impactos normalizada y las verificaciones de que cumple con los requisitos deberán llevarse a cabo sobre una superficie plana y dura y la máquina deberá ser usada en este estado sobre cualquier superficie de ensayo.

Si la superficie de ensayo se cubre con un revestimiento extremadamente blando o si la superficie es muy irregular de forma que no es posible que los martillos caigan los 40 mm necesarios hasta la superficie sobre la que descansan los soportes, se pueden utilizar calzos bajo los soportes para asegurarse una altura de caída correcta de 40 mm.(Ilustración 16).

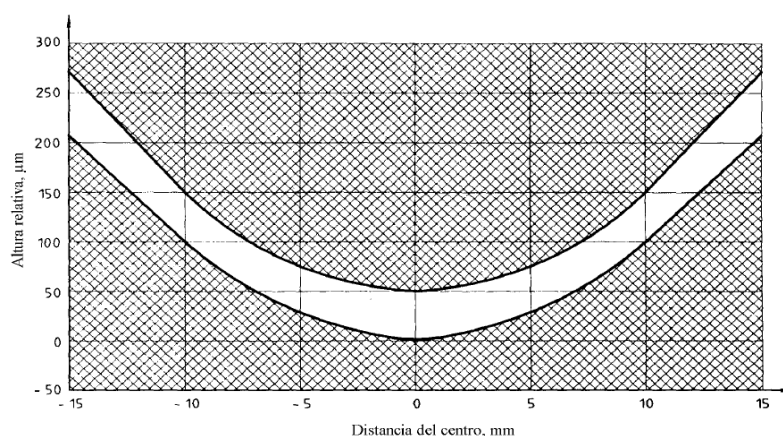


Ilustración 16: Límite de tolerancia de las curvaturas de las cabezas de los martillos

Fuente: Norma ISO 140/6, 2007

El cumplimiento de todos los requisitos deberá ser verificado regularmente bajo condiciones de laboratorio normalizadas. El ensayo deberá llevarse a cabo sobre una superficie de ensayo plana con una tolerancia de $\pm 0,1$ mm y horizontal con una tolerancia de $\pm 0,1^\circ$

La altura relativa en el centro se puede elegir libremente entre 0 μm y 50 μm para hacer que la curvatura de la cabeza del martillo encaje en el límite de tolerancia.

Algunos parámetros sólo necesitan medirse una vez a menos que la máquina de impactos sea modificada. Esto concierne a la distancia entre martillos, soportes de la máquina de impactos, diámetro de los martillos, masa de los martillos (a menos que las cabezas de los martillos sean retocadas), tiempo entre impactos y elevación y altura máxima posible de caída de los martillos.

La velocidad de los martillos, diámetro y curvatura de las cabezas de martillo, dirección de caída de los martillos y el tiempo entre impactos deberán verificarse regularmente.

La incertidumbre en las mediciones de verificación deberá ser como mucho el 20% de los valores de las tolerancias.



Ilustración 17: Máquina de impactos

Fuente: www.soloarquitectura.com, 2014

La precisión del equipo de medida del nivel sonoro deberá cumplir los requisitos de precisión clases 0 o 1 definidos en las Normas CEI 60651 y CEI 60804.

SONOMETRO CLASE	EXACTITUD	USO
0	$\pm 0,4$ dB	Como patrón de referencia en laboratorios
1	$\pm 0,7$ dB	Para laboratorios o en campo donde el ambiente acústico puede especificarse o controlarse de manera precisa

Tabla 4: Clasificación y uso de los sonómetros de acuerdo con su exactitud

Fuente: Norma CEI 60651, 1993

El sistema de medida completo incluyendo el micrófono deberá ser ajustado antes de cada medición para permitir la obtención de valores absolutos del nivel de presión sonora.

9.6.2 Disposiciones del Ensayo

1. **Cámaras:** Las instalaciones del laboratorio deberán cumplir con las disposiciones de la Norma ISO 140/1 vistas anteriormente.
2. **Muestra de ensayo:** El tamaño de la probeta está determinado por el tamaño de la apertura en el laboratorio según se define en la Norma ISO 140-1. Los tamaños estarán comprendidos entre 10 m² y 20 m² aproximadamente, teniendo la arista más pequeña una longitud no inferior a 2,3 m.

La muestra se instala preferiblemente de forma lo más parecida posible a su construcción real, con una cuidadosa emulación de las conexiones y sellado del perímetro y de las juntas de la propia muestra. Las condiciones de montaje deberán figurar en el informe del ensayo.

El aislamiento acústico a ruido de impactos de suelos sólidos depende de su acoplamiento con las estructuras circundantes. Con objeto de describir apropiadamente el efecto del montaje, se recomienda medir e incluir en el informe el factor de pérdidas.

El sonido radiado por transmisiones indirectas debería ser despreciable comparado con el sonido radiado por el suelo sometido a ensayo. Esto puede ser comprobado mediante la medición de las trasmisiones indirectas.

10. METODOLOGÍA

Este trabajo es de tipo cuantitativo y está basado en una metodología de ensayos en base a pruebas normalizadas, con el objetivo de mostrar el comportamiento acústico de dos tipos de entrepiso en las mismas condiciones que serán sometidos a ensayos de medición acústica de aislamiento acústico al ruido de impacto.

Para ello en primer lugar se determinó la placa de entrepiso más usada en Colombia con el fin de identificar el comportamiento acústico frente al ruido por impacto, se realizó el diseño de dos prototipos a escala real Sistema placa fácil y Sistema esterilla de guadua-concreto.

Para realizar los ensayos de laboratorio se fabricó una simulación de una cámara reverberante esta con el fin de obtener los resultados sin ningún tipo de alteración.

10.1 Línea de investigación

Este proceso se sitúa dentro de la línea de tecnologías actuales y sociedad, con el fin de proveer información en progreso del conocimiento científico mediante métodos experimentales.

Finalmente el campo de investigación corresponde a la acústica ya que se trabaja directamente con temas relacionados al aislamiento del ruido tales como: mediciones, ruido por impacto, acondicionamiento y confort acústico.

11. GUADUA

El bambú guadua (*Angustifolia Kunt*) tiene beneficios ambientales cuando proviene de cultivo. En formato tablero puede ser de alta resistencia mecánica, baja resonancia y conductividad térmica (Barreto, 2017).

El sistema de bambú cuenta con unos favorables antecedentes experimentales con media caña como refuerzo inferior. (Khosrow 2005, Guzman, D., & Morel, C. 2005, Flores 2011, entre otros autores hayan propuesto diferentes entrepisos en bambú y concreto con resultados experimentales favorables.

En Colombia se han estudiado paneles con laminados de guadua (Delgado 2000), Estructuras, reticulados, arcos y domos (Hidalgo 1974) (Hidalgo 2003).

Sobre los adhesivos Montoya en el año 2009 definición el procedimiento para la selección del adhesivo y la resistencia mecánica y la durabilidad de la línea de pega.

La disponibilidad de los adhesivos a base de cloropreno y poliuretano es más accesible porque se fabrican en el país en comparación con el resorcinol y melanina que no se fabrican en Colombia. El costo comparativo de estos adhesivos no se ha estudiado pero en la esterilla de guadua a diferencia de la madera los espacios vacíos son más por tal motivo hay un aumento de pegante.

11.1 Esterilla de bambú guadua

La esterilla contra laminada fue creada por Hidalgo en 2003. El proceso de producción es artesanal e inicia con el bambú en estado verde y con alto contenido de humedad, el secado se puede hacer al aire libre en espacio abierto, después se prensa en una planta bajo techo. Con este

material se han fabricado muebles, muros divisorios de campamentos provisionales entre otros elementos no estructurales.



Ilustración 18: Esterilla de guadua

Fuente: <http://bamgua.com>

Los adhesivos que se usan para cada esterilla son los mismos que se usan para la madera laminada, son resinas sintéticas que se categorizan como termoplásticos. La ventaja de estos adhesivos es la disminución de emisiones solventes al medio ambiente, se pueden aplicar por aspersión sin calor, sin prensa neumática.

El sistema está sometido a cargas dinámicas y a cargas estáticas, puede ser parte del sistema de resistencia de una edificación o puede considerarse también un elemento no estructural. Generalmente los entrepisos de madera y concreto, se pueden combinar con estructuras de pórticos o muros de madera, concreto reforzado o mampostería.

Los materiales usados para el prototipo son madera de pino radiata, guadua *Angustifolia* Kunt en forma de esterilla unida con adhesivo de contacto a base de policloropreno en cuatro capas y concreto de 3000 Psi con agregado rodado de ½" y malla electro soldada de 4mm de grafil, separador en lamina de polietileno denso. Los conectores son pernos tirafondo de cabeza hexagonal de 5/16" por 3" de acero zincado.

Se diseñó el prototipo con un tablero de esterilla de guadua contra laminada de 17mm de espesor de tres capas unido con policloropreno sin presión ni calor. El concreto de los prototipos se ensayó luego de 28 días de fraguado con curado con agua y a la intemperie en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia en el laboratorio de tierras del Campus La Santa María vereda Yerbabuena del municipio de Chía KM 23 vía Bogotá-Tunja.

12. DESARROLLO DEL PROYECTO

12.1 Placa fácil

El sistema constructivo para entresijos placa fácil es considerado en Colombia como uno de los procesos que ofrece mayor rapidez en el proceso de construcción de viviendas, ya que el desarrollo de la instalación es fácil de implementar y toma menos tiempo que una losa de entresijo tradicional.¹

Los materiales de los cuales se componen la placa fácil por metro cuadrado son:

- 2 Perfiles colmena 1.0 metro de largo c/u



Ilustración 19: Perfil colmena para sistema placa fácil

Fuente: http://santafe.com.co/images/manuales/ma_p_20.pdf

- 5 Bloquelones

¹ Tomado de: <http://www.construyafacil.org/2007/10/placa-facil.html>

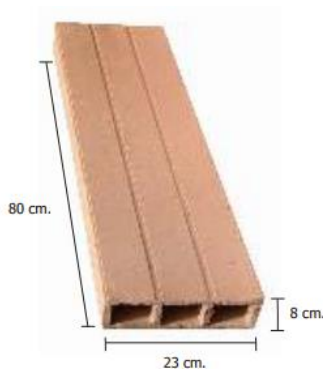


Ilustración 20: Bloquelon para sistema placa fácil

Fuente: http://santafe.com.co/images/manuales/ma_p_20.pdf

- Malla electro soldada de 1m x 1m con grafil de 4mm

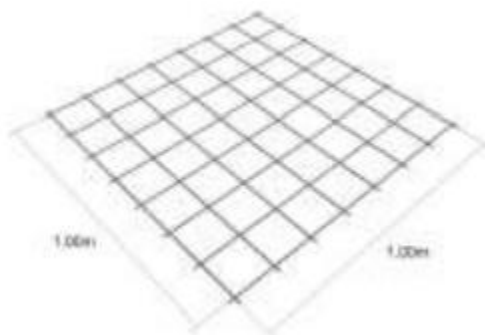


Ilustración 21: Malla electro soldada para sistema placa fácil

Fuente: http://santafe.com.co/images/manuales/ma_p_20.pdf

- 1½ Balde de concreto de 3000 Psi (0,03m³)

12.1.1 Proceso constructivo

1. Verificar la luz o distancia entre apoyos estructurales
2. Colocación de los perfiles

Se dispondrán los perfiles entre piso casa 89cm entre ejes, apoyándolos en el elemento mínimo 1,5cm y máximo 2,5cm

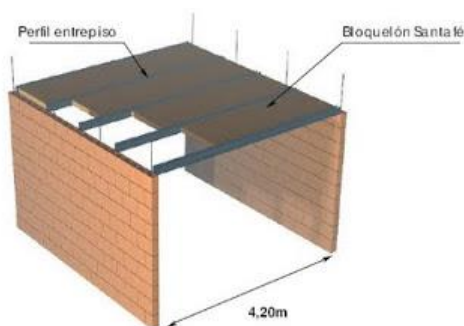


Ilustración 22: Instalación de perfiles y bloquelones sistema placa fácil

Fuente: <http://www.construyafacil.org/2011/04/proceso-constructivo-de-la-placa-facil.html>

3. Colocación de los perfiles y refuerzos

Los perfiles se pueden rellenar con papel o algún otro material para que a la hora de fundir estos queden vacíos (aunque es recomendado que estos queden en su totalidad relleno de concreto).

4. Se colocan los bloquelones apoyados en las aletas del perfil entrepiso en los muros o en las formaleas de las vigas

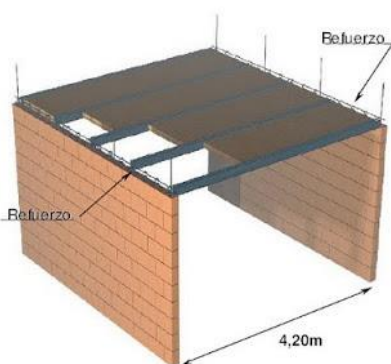


Ilustración 23: Sistema de refuerzos para la placa fácil

Fuente: <http://www.construyafacil.org/2011/04/proceso-constructivo-de-la-placa-facil.html>

5. Colocación de la malla electro soldada

Se coloca la malla electro soldada y el hierro de refuerzo de las vigas perimetrales y los dinteles preferiblemente entrepiso metálico debe quedar relleno en su totalidad de concreto

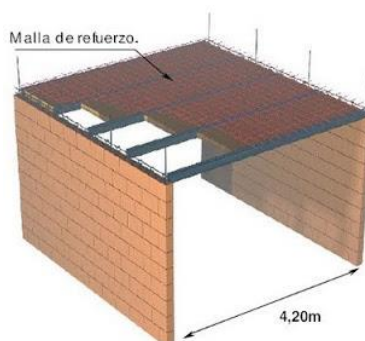


Ilustración 24: Malla de refuerzo para placa fácil

Fuente: <http://www.construyafacil.org/2011/04/proceso-constructivo-de-la-placa-facil.html>

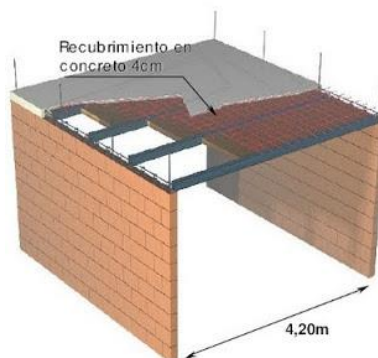


Ilustración 25: Recubrimiento de concreto para placa fácil

Fuente: <http://www.construyafacil.org/2011/04/proceso-constructivo-de-la-placa-facil.html>

12.1.2 Dimensiones

El prototipo diseñado y construido en el laboratorio de tierras de la Universidad La Gran Colombia del tipo de entrepiso placa fácil esta hecho de 1m x 1m, construido bajo los lineamientos antes descritos (ver ilustración 26).



Ilustración 26: Malla electro soldada para placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 27: Preparación de concreto de 3000 psi

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 28: Vertimiento del concreto para placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 29: Nivelación del concreto para placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

12.2 Esterilla guadua-concreto

Este tipo de entepiso es la propuesta del Grupo de investigación Hábitat tecnológico y construcción

Los materiales por los cuales se compone este entepiso por metro cuadrado son:

- 2 Vigas en madera de 1.00 metro de largo

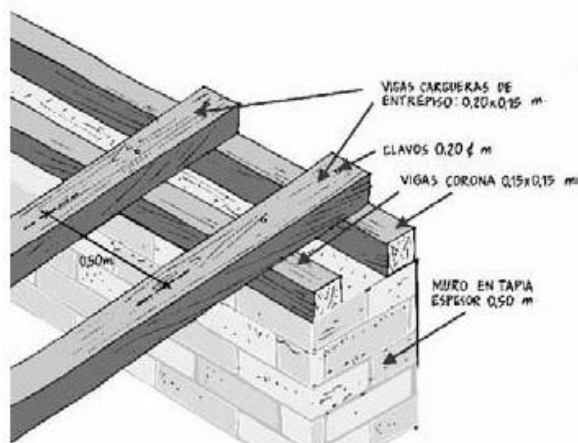


Ilustración 30: Vigas en madera para sistema de entepiso aligerado

Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632007000200009&script=sci_arttext

- Esterilla de guadua de 1m x 1m (inyectada por poliuretano expandido)



Ilustración 31: Esterilla de guadua con poliuretano expandido

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

- Malla electro soldada de 1m x 1m con grafil de 4mm

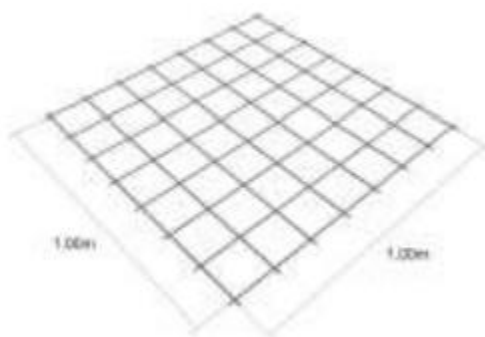


Ilustración 32: Malla electro soldada para entrepiso guadua

Fuente: http://santafe.com.co/images/manuales/ma_p_20.pdf

- 1½ Balde de concreto de 3000 Psi (0,03m³)

12.2.1 Proceso constructivo

Verificar la luz o distancia entre apoyos estructurales

1. Colocación de las vigas en madera perfiles

Se dispondrán las vigas cada 90 cm entre ejes



Ilustración 33: Colocación de perfiles en madera

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

2. Colocación de la esterilla de guadua sobre las vigas



Ilustración 34: Esterilla de guadua sobre perfiles en madera

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

3. Colocación de los conectores (viga-entrepiso) inclinados a 45°



Ilustración 35: Conectores viga-guadua inclinados a 45°

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

4. Colocación de la malla electro soldada

Se coloca la malla electro soldada debe quedar relleno en su totalidad de concreto



Ilustración 36: Colocación malla electro soldada sobre esterilla de guadua

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 37: Malla electro soldada lista para fundir concreto

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 38: Vertimiento del concreto para sistema de entrepiso esterilla de guadua

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 39: Entrepiso esterilla de guadua totalmente fundido

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

12.3 Peso de los prototipos

Sistema Placa fácil:

<i>MATERIAL</i>	<i>Kg/m2</i>
Bloquelon	56
Perfil metálico	7,73
Concreto	68
TOTAL	131,73

Tabla 5: Peso prototipo sistema placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

Sistema Esterilla de guadua:

<i>MATERIAL</i>	<i>Kg/m2</i>
Guadua laminada	20
Madera	3,28
Concreto	68

TOTAL	91,28
-------	-------

Tabla 6: Peso prototipo esterilla de guadua

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

13. ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron los ensayos en base a la norma UNE-EN ISO 140-8. Medición de aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimientos de suelos sobre forjado normalizado pesado.

La realización de los ensayos se llevó a cabo en un laboratorio de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá, ubicada en el norte de la ciudad.

Los ensayos se realizaron de la siguiente manera:

Se buscó la manera de simular una cámara reverberante hecha con drywall, ya que los entornos no se encontraban in situ.

La simulación de la caja reverberante tenía 0,63 m³ (Ver ilustración 40), se realizó con drywall porque es un material que tiene una baja absorción acústica, esto con el fin de alterar lo menos posible los resultados.

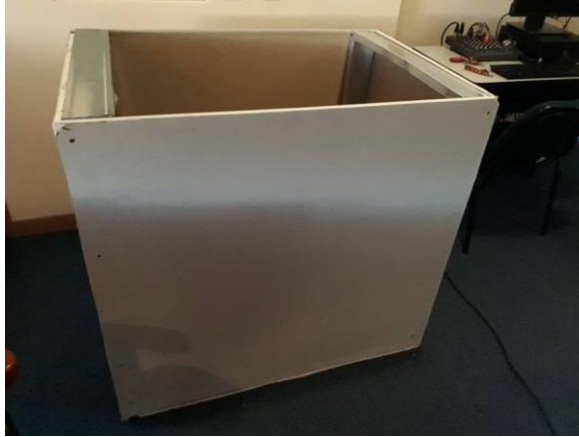


Ilustración 40: Simulación caja reverberante

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

Se procedió a meter el sonómetro dentro de esta caja en cuatro posiciones diferentes (cada esquina) para los ensayos de cada prototipo (Ver ilustración 41).



Ilustración 41: Posiciones del sonómetro dentro de la caja

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 42: Posición de los prototipos encima de la caja

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

Los prototipos se ubicaron encima de la caja cubriendo totalmente el hueco para que quede lo más hermético posible, y se procede a poner la máquina de impactos normalizada en cada uno de los prototipos (Ver ilustración 43, y 44).



Ilustración 43: Ensayo a sistema Placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)



Ilustración 44: Ensayo a sistema esterilla guadua-concreto

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

Se procedió a medir el tiempo de reverberación de la caja receptora según la norma ISO 3382, los equipos utilizados fueron la máquina de impactos normalizada AAAS-001, la cual fue colocada en 1 sola posición.

En la caja receptora por cada posición de fuente se midió en 4 posiciones de micrófono, para este caso fue utilizado el sonómetro integrador tipo 1 Svan 943, este se colocó en la base de la caja (suelo), manteniendo las medidas y posiciones sugeridas por la misma norma ISO 140-7. El tiempo de integración fue de 15 segundos para todas las bandas de frecuencia.

Una vez tomadas las mediciones se procedió a obtener los valores de ruido de impacto acorde con la norma ISO 140-7 (Ver tabla 7), estos datos obtenidos por cada posición de fuente y de micrófono se expresan como L_j , los cuales fueron promediados.

La norma indica que el rango de frecuencia sea de 100 a 3150 Hz por tercio de octava. Si se desea se muestren los datos de 4000 y 5000 Hz, únicamente si es necesario se darán los datos de baja frecuencia para 25, 31.5 y 40 Hz.

PLACA FÁCIL	
Frecuencia [Hz]	1/3 Oct [dB]
25	74,3
31.5	81
40	82
50	77,3
63	79,7
80	73,1
100	71,1
125	66,4
160	65,9
200	78,2
250	69
315	71
400	79,5
500	77
630	74,1
800	90,4
1000	90
1250	84,7
1600	86,5
2000	86
2500	88,2

ESTERILLA DE GUADUA	
Frecuencia [Hz]	1/3 Oct [dB]
25	77,4
31.5	78,7
40	67,7
50	68,8
63	75,2
80	67,4
100	64,6
125	58,6
160	57,4
200	66,5
250	59,2
315	58,1
400	61,5
500	59
630	57,9
800	58,7
1000	58,9
1250	62
1600	58,4
2000	54,7
2500	54,1

3150	89,3	3150	52,2
4000	85,5	4000	49,1
5000	77,7	5000	45,8
6300	70,5	6300	45,7
8000	65,7	8000	44,4
10000	59,5	10000	43,4
12500	54,2	12500	42,8
16000	49,3	16000	42,7
20000	44,2	20000	38,9
Total A	97,6	Total A	67,5
Total C	97,3	Total C	80,8
Total Lin	97,6	Total Lin	84,3

Tabla 7: Resultados 1/3 Oct. Sistema placa fácil y Sistema esterilla de guadua

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

14. RESULTADOS

Los resultados de realizaron teniendo en cuenta el nivel promedio de ruido o nivel promedio energético de la siguiente manera (Ver tablas 8 y 9):

1. En la primera columna se introdujeron las muestras individuales (los resultados de decibeles de cada medición).
2. En la segunda columna se dividió cada valor entre 10.

3. Después se realizó el antilog (antilogaritmo del valor del Paso 2.) $=10^{\wedge}$. Resultados que se evidencias en la columna 3.
4. Se añadieron todos los valores (esto se obtiene sumando todos los resultados del paso 3). Y se evidencia en la segunda columna fila No. 6. Este resultado es el resultado total de la energía del ruido durante el periodo
5. Se divide ese resultado total de la energía del ruido entre el número total de muestras (se realizaron 5 por cada prototipo).
6. Se necesita de base 10 hacer el logaritmo de este número y multiplicarlo por 10 ($10*\log$).

Frente al recuadro de RESULTADO se encuentra el nivel promedio de ruido de cada uno de los prototipos.

Resultados sistema Placa fácil (dB)

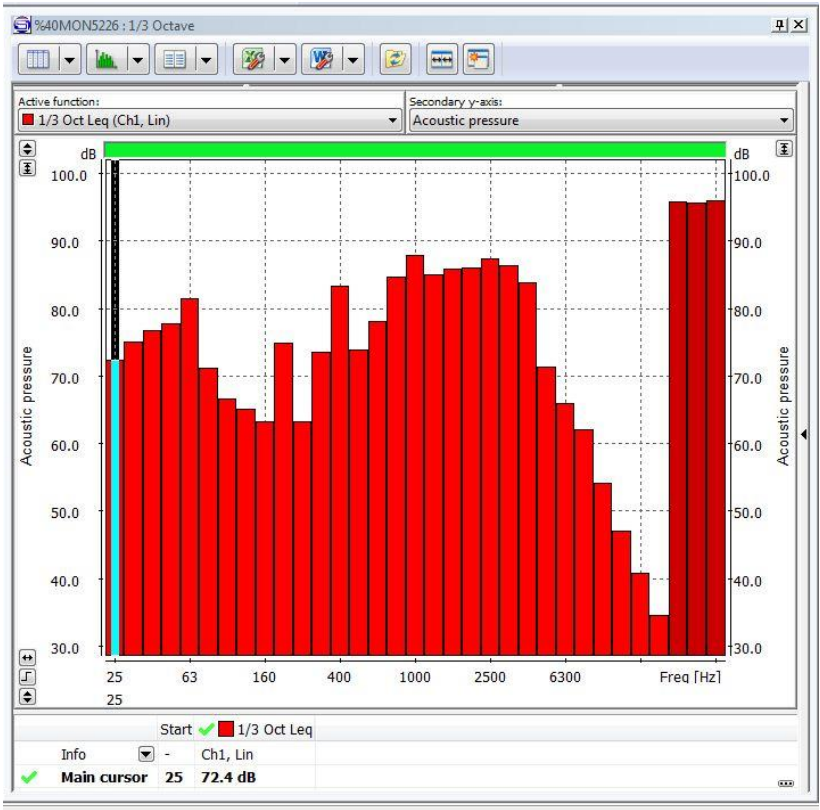


Ilustración 45: Grafica resultado sistema placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

96,6	9,66	4570881896
95,9	9,59	3890451450
68,5	6,85	7079457,844
97	9,7	5011872336
96,7	9,67	4677351413

18157636553	3631527311
RESULTADO	95,60089315

Tabla 8: Resultados finales en decibeles sistema placa fácil

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

Resultados sistema Esterilla de guadua-concreto (dB)

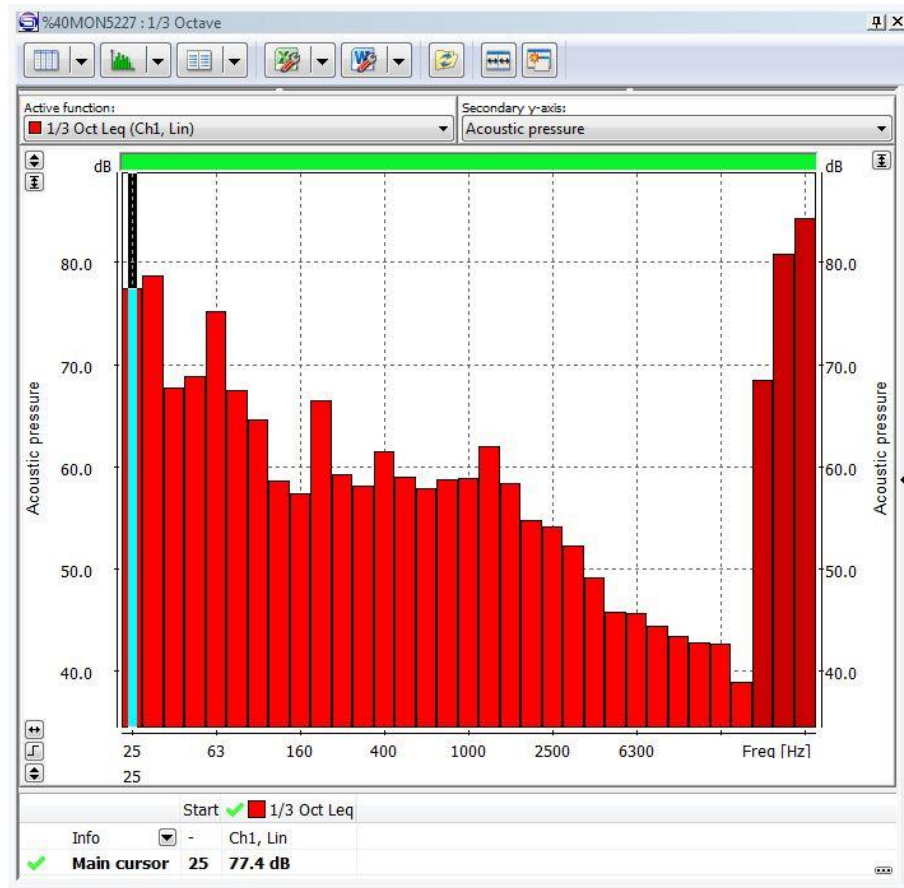


Ilustración 46: Grafica resultado sistema esterilla guadua-concreto

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

67,5	6,75	5623413,252
93	9,3	1995262315
89,7	8,97	933254300,8
82,6	8,26	181970085,9
87,9	8,79	616595001,9

3732705117	746541023,3
RESULTADO	88,73053678

Tabla 9: Resultados finales en decibeles sistema esterilla de guadua

Fuente: Elaboración propia. Fernández, Rodríguez (2017)

15. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta la medición que se le realizó al sistema placa fácil y según el promedio de ruido en las cinco mediciones realizadas podemos concluir de que tuvo un comportamiento alrededor de L_n 95dB
- Es importante fijarnos en las dimensiones del prototipo sistema placa fácil al momento de realizar este tipo de mediciones ya que su peso por metro cuadrado oscila entre los 130 y 150 kilogramos y se dificulta el movilizarlo o ubicarlo para realizar el ensayo.
- Nos damos cuenta de que el sistema placa fácil es un sistema de construcción rápido y práctico para uso de entresijos pero no es acústicamente favorable en cuanto al ruido de impacto
- Según las cinco mediciones que se le realizaron al sistema esterilla de guadua concreto podemos deducir que este tuvo un comportamiento de promedio de ruido alrededor de L_n 89dB.
- Cabe resaltar que el prototipo esterilla guadua-concreto es un sistema más liviano por ende se pudieron realizar los ensayos de una manera más sencilla en comparación con el sistema placa fácil.
- Gracias al prototipo de cámara de reverberación se pudieron obtener resultados más precisos en cuanto a las mediciones de cada sistema de entresijo.
- Comparados los dos prototipos de sistemas de entresijo y teniendo en cuenta las cinco mediciones que se le realizaron a cada uno para luego obtener el nivel de promedio energético podemos concluir que hay un decaimiento de aproximadamente L_n 6dB en comparación a los dos prototipos de ensayo.

- Luego de finalizar la mediciones y con los datos recopilados se llegó a la conclusión de que el sistema esterilla de guadua-concreto tiene un rendimiento más favorable frente al sistema placa fácil.
- Se recomienda hacer las pruebas in situ ya que podría variar las mediciones con respecto al área del prototipo y su ubicación.

16. BIBLIOGRAFIA

Suárez, E. (2004). Curso de Acústica Ambiental ACUS250. Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Acevedo, C (2009). Evaluación del acondicionamiento acústico y recomendaciones de diseño para las salas de clases en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Octubre, 2009, pp 25-43

Ramos, H (2011) El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotermicidad, iluminación y acústica Vol 2 No. 4 Año 2011 [Versión electrónica] Revista UniSalle pp. 60-62

Dolezal, F (2015) Acústica en la construcción con madera y acústica en los edificios [Versión electrónica]

Documento básico HR (2009) Protección frente al ruido Código técnico de la edificación general de Vivienda

Confort acústico y térmico (Mayo 2012) Aislamiento a ruido de impacto entrepisos. Fiberglass Colombia.

UNE EN ISO 140-6: Acústica-Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos (1998).

Absotec (2016). Absorción acústica. <https://www.absorcionacustica.com/10-conceptos-clave-sobre-acustica/>

Acústica Arquitectónica (2010). Cualidades acústicas del espacio.

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_08_09/io3/public_html/CualidadesII.html

Miyara, F, (2006). Acústica y sistemas de sonido. Madrid, España. UNR Editora (Universidad Nacional del Rosario). <http://www.elargonauta.com>

Ingeniería Acústica fácil (2013). Ingeniería acústica: Tipos de ruido en la edificación. <http://www.ingenieriaacusticafacil.com>

Amaya, S. Rodríguez, A. Serrato, A. Villamil, A. (2009). Diseño y construcción de una máquina de impacto normalizada. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Sonido. Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/66108.pdf>

Acevedo, V (2009). Evaluación del acondicionamiento acústico y recomendaciones de diseño para sala de clases en la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/acevedo_v/sources/acevedo_v.pdf

Donoso, F (2010). Estudio de calidad acústica de construcciones de uso habitacional de la ciudad de Valdivia. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil Acústico. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcd687e/doc/bmfcd687e.pdf>

Takeuchi, C (2014). Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural PhD. Tesis. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. <http://www.bdigital.unal.edu.co/46811/1/291494.2014.pdf>