

## EVALUACIÓN SUBJETIVA DEL RUIDO DE IMPACTO MEDIANTE PARÁMETROS DE CALIDAD SONORA

REFERENCIA PACS: 43 Li

Romero, José<sup>1</sup>; Díaz, Vanesa<sup>1</sup>; Segura, Jaime<sup>2</sup>; Barba, Arturo<sup>3</sup>; Lacatis, Radu<sup>3</sup>; Montell, Radha<sup>3</sup>; Cerdá, Salvador<sup>4</sup>; Navasquillo, Joaquín<sup>5</sup>; Cibrián, Rosa<sup>6</sup>; Miralles, José Luis<sup>7</sup>;

1 Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universitat Politècnica de València, [romerof@fis.upv.es](mailto:romerof@fis.upv.es)

2 Institut de Robòtica. Universitat de València. Polígon de la Coma s/n, [jsegura@uv.es](mailto:jsegura@uv.es)

3 E.T.S.I. Industriales. Univ. Politècnica de València. Camí de Vera s/n, [arbarse@doctor.upv.es](mailto:arbarse@doctor.upv.es), [rala1@doctor.upv.es](mailto:rala1@doctor.upv.es), [radmonse@fiv.upv.es](mailto:radmonse@fiv.upv.es)

4 E.T.S.I. Arquitectura. Univ. Politècnica de València, [salcerjo@mat.upv.es](mailto:salcerjo@mat.upv.es)

5 Facultad de Ciencias Físicas. Univ. de València, [joaquin.navasquillo@uv.es](mailto:joaquin.navasquillo@uv.es)

6 Facultad de Medicina. Univ. de València, [Rosa.M.Cibrian@uv.es](mailto:Rosa.M.Cibrian@uv.es)

7 Facultad de Psicología. Univ. de València, [mirallem@uv.es](mailto:mirallem@uv.es)

### Abstract

*The noise impact is one of the most troublesome types of community noise. The aim of this paper is to evaluate the sound quality of the impact of noise generated by different objects (heels, balls, ball machine impacts). It also aims to assess the subjective discomfort of this noise in order to build a model based on psychoacoustic descriptors.*

*This work aims to highlight the subjective nature of sound perception. The impression that the isolates do not meet the minimum occurs in greater proportion among the users of housing classified as "high quality", although the values of the rules do not discriminate on the basis of these characteristics. This is because, in our view, that the buyer has already internalized isolation as a quality requirement, like other contract (floor tiles, taps, etc.), with the difference that you can not check until it makes use of the dwelling.*

### Resumen

*El ruido de impacto es uno de los más molestos de las tipologías de ruido comunitario. El objetivo de este artículo es evaluar la calidad sonora del ruido del impacto generado por diferentes objetos (tacones, canicas, pelota, máquina de impactos). También se pretende evaluar la molestia subjetiva de este ruido con el fin de conseguir un modelo basado en los descriptores psicoacústicos.*

*En este artículo se pretende resaltar el carácter subjetivo de la percepción sonora. La impresión de que los aislamientos no cumplen con los mínimos se da en mayor proporción entre los usuarios de viviendas calificadas como de "alta calidad", aunque los valores de la normativa no hacen distinciones en función de estas características. Ello es debido, a nuestro juicio, a que el comprador ya ha interiorizado el aislamiento como una exigencia de calidad, al igual que otros elementos contractivos (pavimento, alicatado, grifería, etc), con la diferencia de que no la puede comprobar hasta que no hace uso de la vivienda.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El ruido de impacto es uno de los más irritantes en los edificios comunitarios. La irritación y el estrés que tienen importancia en la salud humana tiene gran influencia en el bienestar de las personas.

La importancia del ruido, como un factor de contaminación ambiental, empezó a manifestarse a principio de los sesenta, como consecuencia del impacto del tráfico y del ruido en los ambientes de trabajo. En esta primera etapa los trabajos en acústica y psicoacústica estaban fundamentalmente dirigidos a modificar el ruido en la fuente y al aislamiento acústico como medio de protección de la salud de la población. Es decir, en este momento, la problemática del ruido estaba fuertemente polarizada por el impacto creciente del ruido en la población.

Las normas técnico jurídicas creadas en esta época inciden, de manera decisiva, en los comportamientos y en las molestias. Sin embargo, el incremento de las protestas ante este contaminante muestra que las reglamentaciones no son suficientes para la reducción de la molestia y que la aplicación de las normas no son necesariamente satisfactorias para los afectados.

El ruido viene definido como una sensación sonora no deseada, que depende del nivel, de la frecuencia y de la superposición de los diversos sonidos recibidos al mismo tiempo. Por otra parte, no todos los ruidos son iguales, de hecho en acústica se diferencian el Ruido Aéreo o Ambiental y el Ruido de Impacto o de Transmisión por vía sólida. El primero se origina en el aire y se transmite, fundamentalmente, por el mismo, mientras que el segundo es originado por los choques, caídas de objetos, etc., y se transmite a través de los elementos sólidos de las estructuras de los edificios. En ambos casos, constituyen lo que se denomina Contaminación Acústica.

En este trabajo se pretende resaltar el carácter subjetivo de la percepción sonora, la impresión de que los aislamientos no cumplen con los mínimos se da en mayor proporción entre los usuarios de viviendas conceptuadas de "calidades altas", aunque los valores de la normativa no hacen distinciones en función de estas características. Ello es debido, a nuestro juicio, a que el comprador ya ha interiorizado el aislamiento como una calidad, lo mismo que el pavimento, el alicatado o la grifería, con la diferencia de que no la puede comprobar hasta que no hace uso de la vivienda.

## 2. METODOLOGÍA

Las mediciones se realizaron en un edificio con, dos viviendas superpuestas, en la ciudad de Gandía. Para realizar las siguientes mediciones utilizamos unos zapatos de tacón de madera, una pelota de baloncesto y 3 canicas. El ruido de impacto producido por los diferentes objetos al caer al suelo se realiza siempre en el piso de arriba, recinto emisor. Grabamos el sonido que produce cada objeto al caer al suelo, primero en el piso de arriba y después medimos el sonido que genera cada objeto grabando desde el piso de abajo, recinto receptor. Medimos el ruido de impacto generado por unos zapatos de tacón poniendo una madera sobre el piso.



*Figura 1: Lanzamiento de bolas sobre una tabla de madera*

El ruido de impacto esta generalmente compuesto por pisadas (personas al andar, taconeo), caídas de objetos, o arrastre de muebles. Para la grabación de los distintos ruidos de impacto hemos utilizado una máquina de impactos, unos zapatos de tacón, una pelota de baloncesto y

un par de canicas. Los distintos sonidos se han grabado con una grabadora de alta resolución.

### 2.1. Zapatos de tacón de madera

Las fuerzas que soportan los suelos debido al paso de personas varían según los individuos considerados y, para una misma persona, dependen del calzado, del o los materiales que componen el suelo y del tipo de marcha (rápida o lenta; pesada o ligera).



*Figura 2: Impacto de zapatos de tacón de madera sobre una tabla.*

En consecuencia, el ruido provocado por el caminar se compone de un sonido más o menos seco, que corresponde al impacto del tacón sobre el suelo, acompañado de un sonido sordo (de poca sonoridad) correspondiente al paso del peso del cuerpo sobre cada pie. El sonido es tanto más importante cuanto más duro son el tacón del zapato y del o los materiales que componen el suelo, y cuanto más seco es el paso de la persona.

### 2.2. Pelota de baloncesto

Se ha utilizado una pelota de baloncesto para medir el ruido de impacto generado por ésta. La pelota se deja caer desde una altura de 1,75 m desde el suelo.



*Figura 3: Lanzamiento de una pelota sobre una tabla de madera.*

### 2.3. Canicas

Se utiliza un par de canicas para grabar el ruido de impacto generado por éstas. Se dejan caer las canicas desde una altura de 1,05 m del suelo.



*Figura 4: Canicas impactando sobre una tabla de madera.*

## 2.4. Máquina de impactos

Se ha utilizado una máquina de impactos, modelo Brüel & Kjaer Tapping Maching Type 32, para medir el ruido de impacto en el recinto emisor para tenerlo como referencia.



Figura 5: Máquina de impactos funcionando directamente sobre el suelo.

### 2.4.1. Protocolo de medidas con la máquina de impactos

Para la determinación de aislamientos a ruido de impacto se utiliza una máquina de impactos normalizada que consta de 5 martillos, cada uno con una masa de 500gr que caen libremente y correlativamente desde una altura de 40mm a razón de 10 impactos por segundo. La máquina se conecta a la corriente y también puede disponer de alimentación mediante batería.

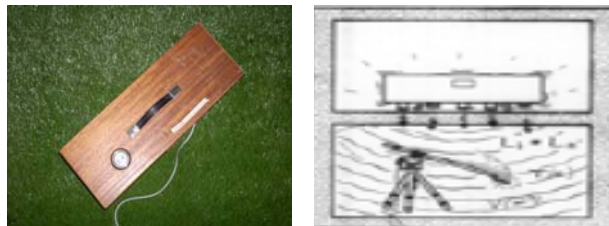


Figura 6: Esquema y fotografía superior de la máquina de impactos.

Las medidas in situ del aislamiento a ruido de impactos de suelos deberán hacerse en tercios de octava a menos que antes se haya convenido realizar las mediciones en bandas de octava. Los niveles de presión sonora en las distintas posiciones de micrófono deberán ser promediados de forma energética.

### TABLA DE MADERA

Se ha utilizado una tabla de madera para comprobar la mejora de ruido de impacto. Situando la tabla de madera sobre el suelo y al dejar caer los distintos objetos o realizar las pisadas con los zapatos de tacón sobre esta madera grabamos el nuevo ruido de impacto.

### GUATA

Es un material aislante. También se ha utilizado junto la tabla de madera para comprobar la mejora del ruido de impacto.

### EDIROL BY ROLAND

Para la grabación de los distintos sonidos de ruido de impacto generados por los distintos objetos se ha utilizado una grabadora de alta resolución modelo Edirol 09R – H.

## 2.5. Medidas

A continuación se presenta una tabla resumen de la medición del ruido de impacto de una máquina de impactos medido en el piso inferior.

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
<b>Sin material</b>	39,5	58,8	58	52,8	54	48,8	40,6	31,4
<b>Madera</b>	36,4	49,5	48,6	46,3	47,2	45,7	41,1	40,8
<b>Madera + guata</b>	38,9	38,8	46,4	43,4	53,8	48,6	39,6	37,5
<b>Madera + 2 guata</b>	39,1	39,5	42,3	39,6	51,4	51,1	49,3	42,3

### 2.5.1. Comparaciones de los tres elementos utilizados para generar el ruido de impacto

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos en la medida del ruido de impacto de diferentes objetos medidos en el piso inferior sobre la madera.

Frecuencia Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>Tacones</b>	47,8	44,4	44,5	46,1	41,1	32	17,8	15
<b>Pelota</b>	39,4	33,3	28,5	21,5	20,2	18,5	14,7	17,4
<b>Canicas</b>	33,8	42,5	37,9	44,9	41,3	34	20	16,8

Los valores que se muestran a continuación muestran valores de ruido de impacto de diferentes objetos medidos en el piso superior sobre madera con una guata encima.

Frecuencia Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>Tacones</b>	61	60,1	61,6	67	65,6	62,6	62,5	45,4
<b>Pelota</b>	55,4	50,4	50,8	31,1	28,8	20,7	17,7	18,2
<b>Canicas</b>	49,1	49,2	63,6	67,6	69,2	72	68,8	55,5

Los valores del ruido de impacto, medidos en el piso inferior, de diferentes objetos sobre una superficie conformada con madera con una guata encima se muestran a continuación:

Frecuencia Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>Tacones</b>	55,0	42	41	32,6	21,8	17,4	16,8	16,1
<b>Pelota</b>	35,2	25,9	25,6	19,3	18,7	16,4	14,7	16,6
<b>Canicas</b>	42	31,4	35	39,2	31,6	30,7	25	16,6

**Nota:** Altura desde la que se lanzan las canicas -> **1,05 m**

Altura desde la que se lanza la pelota -> **1,75 m**

Volumen del recinto emisor = volumen del recinto receptor -> **26,69 m<sup>3</sup>**.

## 3. CALIDAD SONORA EN EL RUIDO DE IMPACTO

La calidad sonora puede ser definida como la reacción perceptual que refleja la aceptabilidad del consumidor de un producto emisor de sonido. Un sonido es considerado como "positivo" cuando el ruido no es percibido como molesto, y causa una emoción positiva con respecto al producto. "Negativa" calidad sonora significa que el sonido causa un evento auditivo inconfortable, y refleja una calidad pobre del producto. La esencia del análisis de la calidad sonora es evaluar subjetivamente un sonido y correlacionarlo con las medidas objetivas.

### 3.1. Parámetros psicoacústicos

Con el objetivo de determinar la molestia subjetiva a partir de parámetros psicoacústicos hemos seleccionado una serie de parámetros para evaluar esta respuesta. A continuación definimos estos parámetros:

- **Nivel equivalente.** El nivel de intensidad sonora en dBA se utiliza como pauta en todas los reglamentos
- **Loudness (N).** *Intensidad Sonora, Fuerza, volumen*, en sonios. ISO 532B (ISO 1966). Es



la magnitud más básica, describe generalmente mejor el nivel de sonido percibido que el nivel de presión sonora. Es una medida más conveniente para evaluar la opinión real de la intensidad, se adapta mejor a la audición humana. El procedimiento de medida del loudness tiene en cuenta la distribución de bandas críticas en la audición humana. Por lo tanto, es aconsejable registrar los efectos de enmascaramiento y las componentes tonales del sonido. Su unidad de medida es el sonio (linealmente) o el fon (logarítmicamente).

- **Roughness (R).** “Aspereza, rugosidad” en *asper*. En un ruido de banda ancha una modulación con dos tonos cuya diferencia se mantenga entre 13 hertzios y 300 hertzios, la sensación de la magnitud de la fluctuación da la impresión de la aspereza. La impresión de la aspereza maximiza en una frecuencia de modulación de cerca de 70 hertzios. Un carácter áspero de un sonido causa generalmente una impresión desagradable de la audición. Si la diferencia de la frecuencia de los dos tonos se excede 300 hertzios se consigue gradualmente la impresión de dos tonos distintos.
- **Sharpness (S).** “Nitidez, agudeza”, en *acum*. Se define en función de la sensación de placer o de desagrado de un sonido referido a toda la envolvente del espectro. Cuanto mayor es la parte de alta frecuencia dentro de un ruido mayor es la impresión de la agudeza del sonido. La agudeza es el parámetro psicoacústico más importante debido a su influencia considerable en el desagrado de sonidos.
- **Fluctuación (F).** Se mide en “vacil”, y es un parámetro semejante al roughness, aunque la fluctuación alcanza valores máximos para señales moduladas con una frecuencia de modulación de 4 Hz [3].
- **Tonalidad.** La tonalidad de un ruido significa que un sonido contiene uno o más componentes prominentes tonales. Los sonidos tonales intensifican generalmente la impresión desagradable de un sonido. Por esta razón en pautas y regulaciones estos sonidos conllevan una penalización de 3 hasta 6 dBA.

### **3.1.1. Test para la evaluación del ruido de impacto**

Para la realización de este proyecto hemos elaborado una encuesta que pasaremos a unas 7 personas de edades entre 20 y 35 años y distinto sexo, expertas en la materia, para posteriormente realizar un análisis factorial entre las respuestas subjetivas obtenidas y los parámetros psicoacústicos.

La valoración de la mejora del ruido de impacto está relacionada con la percepción auditiva, el encuestado a través de la escucha de los distintos sonidos podrá determinar si el sonido es más o menos desagradable o molesto. Por tanto con este estudio comprobaremos a través de los encuestados que conseguimos una mejora en el ruido de impacto después de colocar los distintos materiales aislantes.

### **3.2. Resultados y discusión**

Los parámetros psicoacústicos obtenidos para cada caso de ruido de impacto de la pelota, las canicas, los tacones y la máquina de impactos permiten una evaluación directa de los resultados de cada uno de los elementos para el ruido de impacto medido en el piso de abajo (es decir el producido en el piso superior al de medida). Los valores de los parámetros psicoacústicos para cada uno de los ruidos de impacto, y según las características del elemento separador, determinan que cuanto mayor sea la densidad y protección del elemento separador, suele darse una mayor valoración subjetiva.

Esto no ocurre así con los parámetros *loudness*, *roughness* y *sharpness*, los cuales pueden presentar una mayor variación según la característica del elemento separador. También el valor de la valoración subjetiva que obtenemos calculando la media de las opiniones de los encuestados.

El estudio de la correlación de los diferentes grupos de valores ha dado como resultado la siguiente tabla muestra las correlaciones existentes entre los valores de molestia subjetiva y los diferentes parámetros psicoacústicos. Este estudio se ha realizado mediante la aplicación de los valores de los parámetros psicoacústicos y de valoración subjetiva de estos ruidos de impacto.

	VALOR SUBJETIVO	LOUDNESS	ROUGHNESS	SHARPNESS	FLUCTUACION	TONALIDAD
VALOR SUBJETIVO	1.000	-.880	-.848	-.357	-.819	.379
LOUDNESS	-.880	1.000	.978	.555	.956	-.042
ROUGHNESS	-.848	.978	1.000	.636	.977	-.029
SHARPNESS	-.357	.555	.636	1.000	.697	-.081
FLUCTUACION	-.819	.956	.977	.697	1.000	-.066
TONALIDAD	.379	-.042	-.029	-.081	-.066	1.000

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Usando el programa estadístico SPSS, se ha realizado un estudio de la correlación de los diferentes grupos de valores ha dado como resultado la siguiente tabla, la cual muestra las correlaciones existentes entre los valores de molestia subjetiva y los diferentes parámetros psicoacústicos. A partir de la tabla podemos observar que las correlaciones más significativas se dan entre el valor subjetivo evaluado a partir de una pequeña encuesta realizada y el *loudness*, el *roughness* y la *fluctuación*. Por otra parte, el *loudness* correlaciona significativamente con el *roughness* y la fluctuación. El *roughness* lo hace con la fluctuación y el sharpness.

A continuación se ha realizado un análisis de la varianza (ANOVA) obteniendo un nivel de significación adecuado. La siguiente tabla muestra los valores obtenidos a partir de este análisis.

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	2.992	1	2.992	4.542	.051
Residual	9.222	14	.659		
Total	12.214	15			

a Predictors: (Constant), AIS FISICO

b Dependent Variable: AIS SUBJETIVO

## 5. Conclusiones

A partir de los estudios realizados, podemos observar que existe una correlación importante entre el aislamiento al impacto y la molestia subjetiva. Además observamos que existe correlación entre la evaluación subjetiva de la molestia con el *loudness*, *roughness* y fluctuación

Según sea nivel sonoro equivalente de ruido de impacto tenemos para el caso de los zapatos de tacón y la pelota valores más altos de nivel sonoro equivalente en bajas frecuencias y para el caso de las canicas, niveles más altos para altas frecuencias, cuando no ponemos ningún material sobre el suelo. Tenemos valores más altos en el caso de los zapatos de tacón y las canicas a altas frecuencias y para el caso de la pelota tenemos valores más altos a bajas frecuencias, cuando ponemos una tabla de madera sobre el suelo.

En el caso de los zapatos de tacón tenemos a la frecuencia de 500Hz un nivel mayor de ruido sobre el piso sin material que colocando una tabla de madera, disminuyendo el nivel de ruido a la misma frecuencia si colocamos guata junto con la tabla de madera. Para la frecuencia de 500 Hz, el valor medido en el piso de arriba, recinto emisor, sobre madera es mayor que medido en el piso de arriba, recinto emisor, sin material.

Podemos ver como disminuye el valor de nivel de ruido al poner 2 piezas de guata junto con la tabla de madera. Si nos fijamos en la tablas de las de arriba, para los casos de ruido de impacto medido en el piso de abajo, recinto receptor, vemos como los valores son menores

cuando añadimos una pieza de guata a la tabla de madera. Para algunas frecuencias, como por ejemplo a las frecuencias de 2kHz y 4kHz, el nivel es mayor cuando ponemos 2 piezas de guata que cuando ponemos solo una pieza, en el caso de la pelota.

En los cuatro casos podemos observar que el nivel de ruido es mayor medido en el piso de arriba, recinto emisor que el nivel de ruido medido en el piso de abajo, recinto receptor. Un revestimiento blando como por ejemplo moqueta favorece la atenuación del ruido de impacto. Sin embargo, el ruido de impacto generado sobre un revestimiento rígido, favorece la transmisión de las vibraciones en altas frecuencias. Finalmente, podemos observar que el nivel de ruido de impacto disminuye al colocar una tabla de madera junto con piezas de guata sobre el suelo.

## 6. Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento para los profesores D. Andrés Lara, y D. Antonio Moreno del Instituto Torres Quevedo que han ayudado con material, Máquina de Impactos, y animado a realizar este estudio de acústica.

## 7. Bibliografía

- UNE EN ISO 140-7: Medición "in situ" del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
- UNE EN ISO 3382: Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.
- UNE EN 12354-2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos
- UNE EN ISO 717-2: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Aislamiento a ruido de impactos.
- RD 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico
- "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación."
- LEY 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica.
- Norma Básica de la Edificación. Condiciones Acústicas (NBE-CA 88).
- Rife and J. Vanderkooy. "Transfer-Funtion Measurement with Maximum-Length Sequences", Journal of the Audio Engineering Society (JAES), vol. 37, No. 6, pp 419-443, 1989 June.
- M.R. Schroeder, "New method of measuring reververation time", Journal of the Acoustical Society of America, vol. 38,pp 329-361 (1965) and vol. 40. Pp 549-551 (1966).
- J. S. Bradley, R. E. Haliwell, Nacional Resers Council of Canada, "Making Auditorium Acoustics More Quantitative". J. Sound and Vibration, February 1989.
- "Objective and Subjective Evaluation of floor Impact Noise." Jin Yong Jeon and Jeon Ho Jeong, 25 febrero 2002.
- Instruction Manual 3204. "Máquina de Impactos B&K"