



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2341>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Generación de ondas sonoras en una guitarra eléctrica y relación con el nivel de ganancia y la intensidad*

*Sound waves produced in an electric guitar and their relationship with the gain and intensity level*

*Geração de ondas sonoras numa guitarra eléctrica e relação para ganhar nível e sonoridade*

Luis Fernando Carrasco-Pilco <sup>I</sup>  
[f.carrasco@colegiorudolfsteiner.edu.ec](mailto:f.carrasco@colegiorudolfsteiner.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7389-774X>

Vinicio Edmundo Burgos-Cevallos <sup>II</sup>  
[v.burgos@colegiorudolfsteiner.edu.ec](mailto:v.burgos@colegiorudolfsteiner.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2614-9343>

Fredy Rafael Naranjo-Basantes <sup>III</sup>  
[fnaranjo@uotavalo.edu.ec](mailto:fnaranjo@uotavalo.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7613-545X>

Nicolás Posso-Rivera <sup>IV</sup>  
[nicolasposso90@gmail.com](mailto:nicolasposso90@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-4679-8153>

**Correspondencia:** [f.carrasco@colegiorudolfsteiner.edu.ec](mailto:f.carrasco@colegiorudolfsteiner.edu.ec)

**\*Recibido:** 30 de agosto de 2021 **\*Aceptado:** 22 de septiembre de 2021 **\* Publicado:** 18 de octubre de 2021

- I. Ingeniero Mecánico, Magíster en Enseñanza de la Matemática MEDMAT, Docente de Matemáticas, Análisis y Enfoques Colegio Internacional Rudolf Steiner, Examinador de Matemáticas para el Bachillerato Internacional, Quito, Ecuador.
- II. Ingeniero Químico, Magíster en Educación, mención Pedagogía en entornos digitales, Coordinador del Área de Ciencias del Colegio Internacional Rudolf Steiner, Examinador de Física para el Bachillerato Internacional, Quito, Ecuador.
- III. Ingeniero Mecánico, Magíster en Tecnologías para la Gestión y práctica docente, Docente investigador de la Universidad de Otavalo, Ibarra, Ecuador.
- IV. Estudiante, investigador independiente, Quito, Ecuador.

## Resumen

Esta investigación pone de manifiesto la estrecha relación existente entre la física y la música, las cuales representan áreas del conocimiento con magnitudes comunes; puesto que el sonido es una onda de presión longitudinal, cuya velocidad de propagación energética es paralela a la dirección de vibración de las partículas individuales del medio, con frecuencias, intensidades, longitudes de onda, amplitudes, tonos y timbres definidos. Para la obtención de datos se utiliza una guitarra eléctrica, sus componentes correspondientes, un amplificador y un sonómetro, mediante la aplicación decibel X, para teléfonos inteligentes, que permitirá determinar y analizar la producción y cualidades físicas de las ondas generadas acústicamente por el instrumento. Además, con estos resultados, se brindará un aporte significativo a los amantes de la música, al poder configurar y afinar de manera óptima sus instrumentos musicales, en concordancia con las leyes físicas que están inmersas, como el principio de Huygens, la ley de la reflexión y las leyes de Faraday, independientemente del lugar donde se encuentren. El objetivo medular de este trabajo, es comprobar si la intensidad del sonido producido en decibeles, aumenta o disminuye, a medida que incrementa el nivel de ganancia, mismo que representa la relación existente entre la señal de voltaje a la salida y la de entrada, suministrado mediante el amplificador. Se concluyó que el incremento en la intensidad sonora, conlleva un aumento en la ganancia suministrada y viceversa, lo cual puede ser beneficioso cuando se requiera obtener sonidos agudos o graves. Para futuros estudios, se recomienda manipular otras variables físicas, como el volumen sonoro generado o el emplear distintos materiales y metodologías, para revestimiento acústico.

**Palabras clave:** sonido; onda; rendimiento; potencia; acústica.

## Abstract

This research highlights the close relationship between physics and music, which represent areas of knowledge with common magnitudes; since sound is a longitudinal pressure wave, whose energy propagation speed is parallel to the direction of vibration of the individual particles of the medium, with defined frequencies, intensities, wavelengths, amplitudes, tones and timbres. To obtain data, an electric guitar, its corresponding components, an amplifier and a sound level meter are used, by means of the decibel X application for smartphones, which will make it possible to determine and analyse the production and physical qualities of the waves generated acoustically by the instrument.

Furthermore, these results will make a significant contribution to music lovers, as they will be able to configure and tune their musical instruments optimally, in accordance with the physical laws that are immersed in them, such as Huygens' principle, the law of reflection and Faraday's laws, regardless of the place where they are located. The main objective of this work is to check if the intensity of the sound produced in decibels increases or decreases as the gain level increases, which represents the relationship between the output voltage signal and the input signal supplied by the amplifier. It was concluded that an increase in loudness leads to an increase in the supplied gain and vice versa, which can be beneficial when high or low tones are required. For future studies, it is recommended to manipulate other physical variables, such as the sound volume generated or the use of different materials and methodologies for acoustic cladding.

**Keywords:** sound; wave; performance; power; acoustics.

## Resumo

Esta investigação destaca a estreita relação entre a física e a música, que representam áreas do conhecimento com magnitudes comuns; uma vez que o som é uma onda de pressão longitudinal, cuja velocidade de propagação de energia é paralela à direcção da vibração das partículas individuais do meio, com frequências, intensidades, comprimentos de onda, amplitudes, tons e timbres definidos. Para obter dados, utiliza-se uma guitarra eléctrica, os seus componentes correspondentes, um amplificador e um sonómetro, através da aplicação decibel X para smartphones, o que permitirá determinar e analisar a produção e as qualidades físicas das ondas geradas acusticamente pelo instrumento. Além disso, estes resultados darão um contributo significativo aos amantes da música, pois serão capazes de configurar e afinar os seus instrumentos musicais de forma óptima, de acordo com as leis físicas que neles estão imersas, tais como o princípio de Huygens, a lei da reflexão e as leis de Faraday, independentemente do local onde se encontrem. O principal objectivo deste trabalho é verificar se a intensidade do som produzido em decibéis aumenta ou diminui à medida que o nível de ganho aumenta, o que representa a relação entre o sinal de tensão de saída e o sinal de entrada fornecido pelo amplificador. Concluiu-se que o aumento do ruído leva a um aumento do ganho fornecido e vice-versa, o que pode ser benéfico quando são necessários sons agudos ou graves. Para estudos futuros, recomenda-se a manipulação

de outras variáveis físicas, tais como o volume sonoro gerado ou a utilização de diferentes materiais e metodologias de revestimento acústico.

**Palavras-chave:** som; onda; desempenho; potência; acústica.

## Introducción

El tema propone encontrar la relación física existente entre la intensidad sonora generada por un instrumento musical y el nivel de ganancia, mediante una metodología experimental, con la ayuda de un sonómetro descargado desde un teléfono celular y un amplificador. Posteriormente, pretende analizar los datos obtenidos e inferir conclusiones validadas científicamente.

Este estudio puede beneficiar a nuevos músicos, que gusten del mundo de las guitarras, además en esta investigación se obtienen y analizan datos acerca de la intensidad del sonido, que aportarán en poder configurar de mejor manera sus componentes, dependiendo del lugar en el que se utilice el instrumento musical, ya sea en un estudio o en un espacio abierto y afinarlo óptimamente siguiendo principios físicos.

En esta investigación, se utilizan las ramas de la física correspondiente a ondas, estudiando en concreto las ondas de presión, ya que el sonido se propaga a través de ese tipo de ondas por el aire, y la rama de la acústica que es aquella que estudia las ondas sonoras, así como su producción y cualidades. La metodología desarrollada en la investigación, utiliza los componentes básicos de una guitarra eléctrica y un medidor de intensidad del sonido, con la ayuda de un teléfono inteligente, en el cual se ha descargado la aplicación *Decibel X*, misma que convierte al teléfono, en un medidor de presión sonora en decibelios (*dB*), planteado la siguiente interrogante: ¿De qué manera la intensidad del sonido de las notas de una guitarra eléctrica depende del nivel de ganancia suministrado a través de un amplificador? es decir, mediante la experimentación y análisis de datos, se pretende comprobar si la intensidad del sonido aumenta, disminuye o permanece invariante, a medida que incrementa el nivel de ganancia, mismo que representa la relación existente entre el nivel de la señal de salida al de entrada, suministrado mediante el amplificador.

## Estado del Arte

### *Guitarra eléctrica*

La guitarra eléctrica es un instrumento musical, que cuenta con seis cuerdas. Sus principales componentes son las pastillas, que sirven de micrófono en instrumentos eléctricos, posee unos imanes rodeados de alambre de cobre, los cuales recogen el sonido de las cuerdas metálicas de la

guitarra, al vibrar dentro de su campo electromagnético. Utiliza la inducción electromagnética como principio, para hacer que las vibraciones de las cuerdas de metal se conviertan en señales eléctricas y sean enviadas al amplificador por medio de un cable. El amplificador al mismo tiempo, convierte esas ondas eléctricas en ondas sonoras; cabe indicar que la inducción electromagnética, constituye el proceso físico mediante el cual se produce tensión o diferencia de potencial (o fuerza electromotriz (*fem*)), sobre un cuerpo que se encuentra expuesto a un campo magnético, es decir la energía del campo electromagnético es suministrada a un cuerpo que se encuentra alrededor y forma parte de un circuito cerrado, como es el caso de la guitarra eléctrica junto al amplificador, produciendo que esa energía se transfiera en forma de una corriente inducida <sup>1</sup>(Montero, Veneciano y Bravo, 2019).

Según Alier (2016), señala que para que la pastilla funcione adecuadamente, se requiere que las cuerdas del instrumento sean metálicas, no de nylon como en guitarras clásicas o flamencas. Esto por cuanto, las cuerdas metálicas al desplazarse por el interior del campo magnético producido por el imán, generan una corriente eléctrica inducida en la bobina, lo cual fue descrito y observado por el científico Michael Faraday en 1831. El amplificador juega un rol muy importante a la hora de hacer sonar una guitarra eléctrica, primero es necesario configurarlo adecuadamente, lo que quiere decir que se debe ajustar el nivel de volumen y la ganancia, para que emita el sonido más adecuado, dependiendo de la situación.

**Ilustración 1:** Guitarra Eléctrica con sus partes diagramadas



**Fuente:** Autores, 2021

<sup>1</sup> Técnica que consiste en generar corriente eléctrica en un material conductor.

### ***Funcionamiento del amplificador***

Un amplificador es un elemento que tiene que ir de la mano con una guitarra eléctrica, ya que es lo que convierte las ondas eléctricas de la guitarra en ondas sonoras, al vibrar las pastillas de la guitarra, convierten esas vibraciones en corriente alterna y se amplifican con la ayuda del amplificador, para luego salir convertidas en sonidos a las mismas frecuencias que vibran las cuerdas de la guitarra. En el área de la música, un amplificador se basa en ampliar la señal de salida ejerciendo su esfuerzo sobre la tensión (voltaje de salida) que trae la señal de entrada. La relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada, se define como ganancia, que es el principio por el cual las señales del instrumento se ven amplificadas y producen el sonido más fuerte, la ganancia es lo que se va a estudiar como variable independiente en esta investigación (Andresinho, 2011). Esto en términos más sencillos, es la relación entre la señal que recibe y la señal que sale del amplificador y la palanca que se encuentra en el amplificador, regula el nivel de señal que el amplificador está recibiendo del instrumento, en este caso la guitarra y luego lo expulsa por el altavoz de manera amplificada y convertida a ondas sonoras.

**Ilustración 2:** Esquema de Amplificador de sonido diagramado con sus partes.



**Fuente:** Autores, 2021

En la ilustración 2 se puede ver un diagrama de un amplificador de sonido, el cual nos indica las partes de las que está compuesto, de izquierda a derecha los componentes que indica son: puerto Jack de entrada, donde se conecta la guitarra a través de un cable para poder escuchar los sonidos producidos por el instrumento. Luego se encuentra el controlador de ganancia ya antes explicado, después se encuentran tres palancas que corresponden a los bajos, los cuales regulan las frecuencias que producen las cuerdas más gruesas, posteriormente se ubican los medios, que regulan las frecuencias que producen las cuerdas intermedias y notas medias; por último, los agudos los cuales generan frecuencias altas, que son producidas por las cuerdas más finas. Con estos controles, se podrá regular el sonido que va a producir el amplificador. Además, posee palancas de efectos, que son las encargadas de adicionar distorsión y otro tipo de modificaciones al sonido original, dependiendo de lo que el guitarrista desee entonar.

Las especificaciones del amplificador que emplea son las siguientes:

- $1,25 \pm 0,01A$  de entrada.
- $16 \pm 1dB$  de amplificación.
- $120 \pm 1V$  de entrada.

### *Acústica*

La acústica es la rama de la física que se encarga del estudio de las ondas sonoras, como su producción, transmisión, almacenamiento, percepción, reproducción y propiedades, etc (Martínez, 2021). En este trabajo nos centraremos en la intensidad del sonido, como propiedad medular de investigación, es decir cómo las oscilaciones de la presión de las moléculas del aire, son convertidas en ondas mecánicas (Díaz, 2007).

En las ondas sonoras, la transmisión se efectúa mediante compresiones y rarefacciones sucesivas de las partículas de aire, por el medio a través del cual se conducen. En contraposición, el ruido debe minimizarse, ya que es indeseable, pues genera un sonido desagradable y se produce debido al movimiento vibratorio de un objeto en cualquier medio sea sólido, líquido o gaseoso (Llosas et al., 2009).

### *Ganancia*

Según Andresinho (2011) la ganancia representa la señal eléctrica (diferencia de potencial o voltaje) de entrada que recibe el amplificador del instrumento, si esta se aumenta, generará distorsión, ya que, ingresa una señal eléctrica más fuerte de la que emerge. La ganancia se controla desde el

amplificador con la ayuda de una palanca. Existen tres tipos de ganancias en un amplificador y son: la ganancia de tensión, la ganancia de corriente y la ganancia de potencia.

La ganancia de tensión se obtiene a partir de la ecuación (1), según Andresinho (2011)

$$A_v = \frac{Voltaje_{SALIDA}}{Voltaje_{ENTRADA}} \quad (1)$$

Donde:  $A_v$  = Ganancia de tensión

$V_{salida}$  = Tensión saliente (V)

$V_{entrante}$  = Tensión entrante (V)

La ganancia de corriente se obtiene a partir de la ecuación (2), según Andresinho (2011)

$$A_i = \frac{I_{SALIDA}}{I_{ENTRADA}} \quad (2)$$

Donde:  $A_i$  = Ganancia de corriente

$I_{salida}$  = Intensidad de corriente de salida (A)

$I_{entrante}$  = Intensidad de corriente de entrada (A)

La ganancia de potencia se obtiene matemáticamente al multiplicar la ganancia de tensión y la ganancia de corriente, a partir de la ecuación (3), según Andresinho, (2011)

$$A_p = A_v \times A_i \quad (3)$$

Donde:  $A_p$  = Ganancia de potencia

$A_v$  = Ganancia de tensión

$A_i$  = Ganancia de corriente

No hay que confundir términos que son relacionados pero que no representan lo mismo, entre ellos la ganancia y el volumen. Martín (2018), explica que la ganancia controla la señal de entrada que ingresa al amplificador proveniente del instrumento, mientras que el volumen controla la señal procesada por el amplificador. Cuando la ganancia aumenta, a medida que va subiendo el volumen, también se incrementa el nivel de distorsión, pues ingresa mayor señal de la que sale.

Por otra parte, la ganancia de potencia tiene relación con la energía y a decir de Encarnación et al. (2020), dicha transferencia energética puede darse mediante sistemas capacitivos o inductivos, siendo estos últimos, los que brindan mayor eficiencia.

### *Intensidad del sonido*

Resulta importante el denotar que, dentro de las ondas longitudinales, las sonoras son las más utilizadas, su caracterización se extiende a aquellas en las que la velocidad de propagación está en la misma dirección que la vibración de las partículas individuales del medio, en contraposición con ondas transversales donde dicha vibración es perpendicular o normal a la velocidad de propagación (Martínez, 2021). A criterio de Pizetta, Wanderley, Mastelaro, y Paiva (2017), el hecho de que las ondas longitudinales oscilen en la misma dirección de propagación, presenta dificultad de interpretación y comprensión en cuanto a sus gráficas, ya que, en una cantidad de veces se desprecian factores importantes, como la distancia a la fuente sonora.

La intensidad de las ondas sonoras, hace referencia a la potencia acústica<sup>2</sup> transferida por una unidad de área normal a la dirección de propagación, esto quiere decir que es perpendicular a dicha dirección y se mide en decibelios (*dB*), en base a la ecuación (4), según (Olmo, s.f.), (Acústica, 2003). Además, según lo describen Pereira et al. (2019), un aumento en la intensidad de la señal recibida, no siempre implica una mejora en la calidad de recepción y se deben tener en cuenta varios parámetros e índices adicionales, como la distancia entre los emisores y los receptores, así como la potencia a la cual se emite la señal.

Los decibeles *dB* son aquella fracción audible del sonido, que se lo puede medir en el interior de las viviendas y en áreas exteriores, mediante un sonómetro; incrementar la intensidad del sonido contribuye a aumentar gradualmente la posibilidad de pérdida de la audición, esta pérdida según lo registran Álvarez et al. (2017), puede darse por exposiciones prolongadas a sonidos sobre los 75 *dB*. Los decibelios representan también una forma de registro de la ganancia para amplificadores (con signo positivo), aunque en elementos atenuadores como cables, consolas se suele tener pérdidas y en este caso, los decibelios se muestran con signo negativo, tal cual lo registra Manso (2018).

$$\beta = 10 \log \left[ \frac{I}{I_o} \right] \quad (4)$$

Donde:  $\beta$  = Nivel de intensidad del sonido (*dB*)

---

<sup>2</sup> Volumen.

$$I = \text{Intensidad del sonido (W/m}^2\text{)}$$

$$I_o = 10^{-12} \text{W/m}^2 \text{ umbral de audición}^3 \text{ del ser humano}$$

El nivel de intensidad del sonido se establece en la escala logarítmica, para que las relaciones muy grandes o muy pequeñas puedan ser representadas con números convenientemente pequeños (Rob, 2010). Es pertinente, además, realizar una linealización y representarla mediante una gráfica, para que se facilite la interpretación y representación, aplicando adicionalmente la ecuación (5) correspondiente a la intensidad.

Según Allum y Talbot (2016) mencionan que la intensidad relaciona la potencia emitida por unidad de área, tal cual se registra en la siguiente relación matemática:

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Donde:  $I = \text{Intensidad (W/m}^2\text{)}$

$P = \text{Potencia (m}^2\text{)}$

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

### ***Decibel X***

La aplicación Decibel X convierte al teléfono móvil en un medidor de presión sonora en decibelios, gracias al micrófono integrado al mismo. La precisión que otorga esta aplicación, coincide con los dispositivos medidores de presión sonora reales, por lo que resulta idóneo utilizar dicha aplicación con los fines anteriormente descritos. Un error común, consiste en pensar que los decibelios (dB) representan qué tan grande es la intensidad y hay que entender que es una cantidad relativa, como lo indica Manso (2018), quien plantea que se deben interpretar las mediciones de los decibelios, comparativamente, entre una señal de entrada y una de salida y de esa forma determinar si dicha señal de salida es más grande, más pequeña o permanece invariante, en relación a la de entrada.

La hipótesis que se plantea en consideración al estudio propuesto, es que mientras más ganancia esté siendo aplicada al amplificador, también la intensidad del sonido generado será mayor, esto implica que el sonido va a ser más intenso, por lo que se podrá escuchar de forma más fuerte y pronunciada. Esto se comprobará mediante la experimentación, toma de datos e interpretación de los mismos, también se planteará un modelo físico matemático, el cual ayudará a explicar de mejor

<sup>3</sup> El umbral de audición es el sonido más bajo que el oído del ser humano puede escuchar.

manera y, por lo tanto, se obtendrán resultados teóricos como experimentales, para llegar a conclusiones fiables.

## Experimentación

En esta segunda parte de la investigación, se procederá a explicar la metodología empleada para la experimentación. En primer lugar, se registra una lista con los materiales y equipos utilizados:

### *Materiales y equipos:*

- Guitarra eléctrica
- Cable Jack de entrada y salida
- Amplificador de sonido, cuyas características se especificaron anteriormente
- Teléfono inteligente
- Aplicación móvil Decibel X

Por otra parte, las variables a considerar en la parte investigativa son las siguientes:

**Tabla 1:** Variables de experimentación

Variable independiente	El nivel de ganancia suministrado al amplificador.
Variable dependiente	Intensidad del sonido de las ondas producidas.
Variables controladas	Cuerdas del mismo material, Níquel (Ni) Misma nota musical. Mi ( $330 \pm 1$ Hz) Distancia del medidor. $60,00 \pm 0,05$ cm

**Fuente:** Autores, 2021

**Ilustración 3:** Diagrama del experimento para la toma de datos



**Fuente:** Autores, 2021

El nivel de ganancia se va a modificar con la ayuda del propio amplificador, ya que posee una palanca para hacerlo (volumen de la señal de entrada) que va desde 0 dB hasta  $1,60 \pm 0,01 \text{ dB}$  de aumento como máximo, y por ende al variar la ganancia, la intensidad del sonido también variará, dependiendo de los distintos niveles de ganancia que se pueden aplicar al amplificador.

Para realizar esta investigación de cómo varía la intensidad del sonido dependiendo del nivel de ganancia, se utilizará la ecuación (4), ya que, al medir con un sonómetro, se obtendrá el nivel de intensidad del sonido ( $\text{dB}$ ), además se realizarán varias medidas y se hará un gráfico que buscará la relación entre la intensidad del sonido con el nivel de ganancia, mediante el que se podrá llegar a una conclusión y de esta manera responder a la pregunta de investigación planteada.

La intensidad se obtendrá matemáticamente al despejar la incógnita "I" de la ecuación (4), quedando de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log \left[ \frac{I}{I_o} \right] \\ \beta &= 10 \log(I) - 10 \log(I_o) \\ \beta &= 10 \log(I) - 10 \log(10^{-12}) \\ \beta &= 10 \log(I) + 120 \\ \log(I) &= \frac{\beta - 120}{10} \\ I &= 10^{\frac{\beta - 120}{10}}\end{aligned}\tag{6}$$

Para relacionar nuestras dos variables se utilizará la **ecuación (6)** y se modificará la **ecuación (2)**, obteniéndose la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{10^{\frac{\beta - 120}{10}}}{1,25}\tag{7}$$

El valor que se encuentra en el denominador de la expresión anterior, corresponde a  $1,25 \pm 0,01 \text{ A}$  y es la intensidad de corriente, que registra las especificaciones del amplificador (Behringer, 2018). Se reemplazó la intensidad de salida dada por la ecuación (6), y al resolver esta ecuación, tendremos como resultado la intensidad de sonido que está emergiendo del amplificador.

Para establecer la ganancia de tensión, se tomaron datos el nivel de salida máximo del audio del amplificador que es de  $16 \pm 1 \text{ dBV}$  (Behringer, 2018) y se transformó a su equivalente en Voltios (V),

utilizando un conversor online, el cual funciona de la siguiente manera: se ingresa un valor en una determinada unidad y se selecciona la unidad a la que se quiere convertir. Este proceso en este caso dio como resultado  $6,31 \pm 0,01V$  (TRanslatorCafe, 2021).

**Ilustración 4:** Conversor en línea de decibeles a voltios



Fuente: <http://www.ziggysono.com/pop/convert1.php>

Como voltaje de entrada se registran  $120 \pm 1V$ , especificados en el propio amplificador en la parte de la conexión a la corriente, lo que da como resultado al reemplazar en la ecuación (1):

$$A_v = \frac{6,31 \pm 0,01}{120 \pm 0,01}$$
$$A_v = 0,05$$

#### **Cálculo de errores:**

Tensión de salida:

$$Error\ absoluto = \pm 0,01$$
$$Error\ relativo = \pm \frac{0,01}{6,31} \times 100$$
$$Error\ relativo = \pm 0,16\%$$

Tensión de entrada:

$$Error\ absoluto = \pm 1$$
$$Error\ relativo = \pm \frac{1}{120} \times 100$$
$$Error\ relativo = \pm 0,83\%$$

Error ( $A_v$ ):

$$Error = 0,99 \text{ Calcular también error absoluto}$$
$$Error\ absoluto = 0,05 \rightarrow 100\%$$
$$0,99\% \rightarrow x$$

**Error absoluto = ±0,000945**

La ganancia de potencia se puede calcular con la siguiente ecuación, que se ha realizado a partir de la ecuación (1) resuelta y la ecuación (7), que al multiplicarse da como resultado:

$$Ap = \frac{6,31 \pm 0,01}{120 \pm 1} \times \frac{10 \frac{\beta - 120}{10}}{1,25 \pm 0,01} \quad (8)$$

El cálculo de error de ( $Ap$ ) es el siguiente:

$$Error\ absoluto\ Av = \pm 0,000945$$

Error ( $Ai$ )

$$Error\ absoluto = \pm 0,01$$

$$Error\ relativo = \pm \frac{0,01}{1,25} \times 100$$

$$Error\ relativo = \pm 0,8\%$$

Error de ( $Ap$ ), puesto que  $Ap = Av \times Ai$  entonces:

$$Error\ relativo\ Ap = 0,99\% + 0,8\%$$

$$Error\ relativo\ Ap = 1,79\%$$

$$Error\ absoluto\ Ap = 0,001295 \rightarrow 100\%$$

$$1,79\% \rightarrow x$$

$$Error\ absoluto\ Ap = \pm 0,00002318$$

Ahora se procederá a calcular la ganancia de potencia obtenida, mediante la aplicación de la ecuación (8), junto con el primer dato de intensidad sonora que es  $60,5 \pm 0,1\beta$  y los valores son los siguientes:

$$Ap = \frac{6,31}{120} \times \frac{10 \frac{\beta - 120}{10}}{1,25 \frac{60,5 - 120}{10}}$$
$$Ap_1 = \frac{6,31}{120} \times \frac{10}{1,25}$$
$$Ap_1 = 0,000000472$$

A continuación, se calcula la intensidad con la ecuación (6), variando los datos de  $\beta$  para cada una de las medidas.

$$I = 10 \frac{\beta - 120}{60,5 - 120}$$
$$I_1 = 10 \frac{10}{10}$$
$$I_1 = 0,000006A$$

Ahora se procede a la toma de datos, para poder calcular la intensidad de cada  $\beta$  con la ecuación (6). Los valores se tomarán a una distancia de  $60,00 \pm 0,05 \text{ cm}$  desde el altavoz del amplificador y con la palanca de volumen a  $\frac{1}{4}$  de su máximo, lo que significa que no es el máximo volumen del amplificador. La ganancia experimental ha sido calculada, dividiendo el valor de intensidad sonora entre el valor inicial que es  $60,5 \pm 0,1 \text{ dB}$  y así se han obtenido los resultados.

Los datos de ganancia de potencia experimental han sido obtenidos realizando una división, entre el valor de intensidad de sonido del cual se quiere obtener la ganancia de potencia, para el valor de intensidad sonora base o referencia que es  $60,5 \pm 0,1 \text{ dB}$ , mencionado en el párrafo anterior.

**Ilustración 5:** Fotografía del Experimento en la Toma de Mediciones de Intensidad Sonora



**Fuente:** Autores, 2021

Los resultados obtenidos tanto a nivel teórico como experimental se registran en la siguiente Tabla 2.

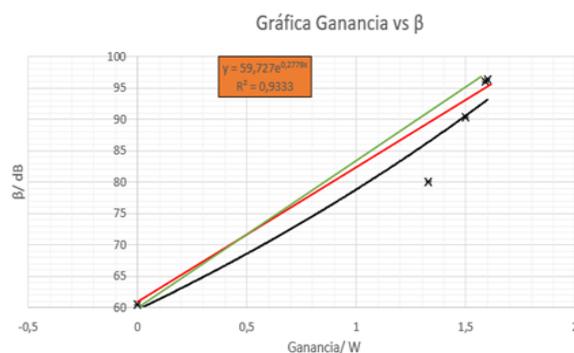
**Tabla 2:** Datos obtenidos de la Parte Experimental y Parte Teórica.

$\beta(dB) \pm 0,1$	Ganancia de potencia experimental $\pm 0,01$	Ganancia de potencia teórica $\pm 0,00002318$	Intensidad de entrada (A) $\pm 0,0008$
60,5	0	$A_{p1} = 4,72 \times 10^{-8}$	$I_1 = 1,22 \times 10^{-6} A$
80,1	1,33	$A_{p2} = 4,30 \times 10^{-6}$	$I_2 = 1,02 \times 10^{-4} A$
90,3	1,50	$A_{p3} = 4,51 \times 10^{-5}$	$I_3 = 1,07 \times 10^{-3} A$
96,0	1,59	$A_{p4} = 1,67 \times 10^{-4}$	$I_4 = 3,98 \times 10^{-3} A$
96,4	1,60	$A_{p5} = 1,84 \times 10^{-4}$	$I_5 = 4,36 \times 10^{-3} A$

Fuente: Autores, 2021

En la segunda columna, de izquierda a derecha se encuentra la ganancia que está siendo aplicada al sonido inicial, es decir, el factor por el cual se multiplica el valor de  $60,5dB \pm 0,1$ , que corresponde al valor de  $\beta$  cuando no se le aplica ningún tipo de ganancia al amplificador, y a cada nivel que se sube en la palanca, se corresponde con una casilla de la derecha de la Tabla 2, con lo que, se observa que, al aumentar la ganancia de potencia, también la intensidad de sonido crece. En la tercera columna se presenta la ganancia de potencia obtenida a partir del modelo físico matemático, el cual se ha planteado antes con la incógnita  $\beta$ , la cual representa la intensidad de sonido. En la cuarta columna, se obtiene la intensidad igualmente teórica, a partir de la ecuación (6), en la que se reemplaza de igual manera la intensidad de sonido medida. Con estos datos se realiza la siguiente gráfica, misma que indica la tendencia de que, a medida que aumenta el nivel de ganancia también aumenta la intensidad del sonido.

**Gráfico 1:** Relación Exponencial de la Ganancia vs la Intensidad de Sonido.



Fuente: Autores, 2021

Generación de ondas sonoras en una guitarra eléctrica y relación con el nivel de ganancia y la intensidad

La Tabla 2 muestra la relación que hay entre la ganancia y la intensidad de sonido. Las barras de error del eje  $X$  en el Gráfico 1 son imperceptibles debido a la escala del gráfico y el nivel de error que existe en las medidas. Las líneas de error máximo y mínimo están representadas con color verde y rojo respectivamente. Ahora se procederá a realizar una linealización logarítmica, para poder representar de una mejor manera el gráfico y la interpretación de datos, se aplican logaritmos a la ecuación (9) obtenida desde el gráfico 1, obteniéndose la ecuación (10), misma que corresponde al resultado del proceso de linealización.

$$y = 59,727e^{0,2779x} \tag{9}$$

$$\ln y = \ln(59,727e^{0,2779x})$$

$$\ln y = 0,2779x + \ln 59,727 \tag{10}$$

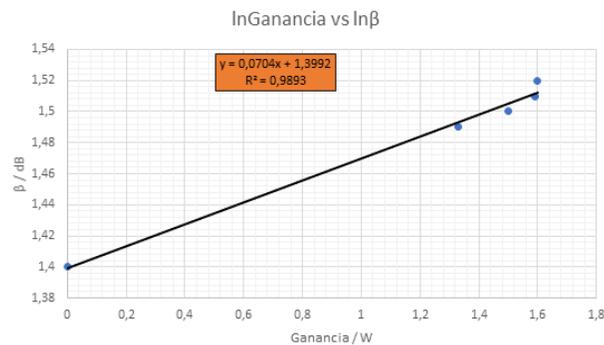
Con el proceso descrito anteriormente, se organizan los resultados obtenidos experimentalmente, mediante la Tabla 3 y la Gráfica 2.

**Tabla 3:** Valores de ganancia y logaritmo de  $\beta$

$\ln$ de ganancia	$\ln$ de $\beta$
0	1,40
1,33	1,49
1,50	1,50
1,59	1,51
1,60	1,52

Fuente: Autores, 2021

**Gráfico 2:** Logaritmo de la Ganancia y la Intensidad de Sonido.



Fuente: Autores, 2021

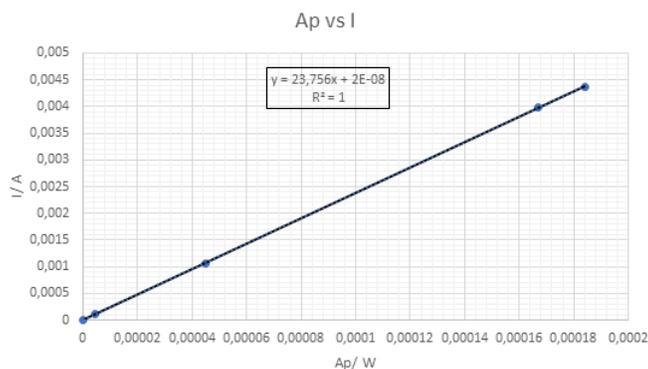
Ahora se procederá a realizar un gráfico, para poder observar la relación entre la intensidad y la ganancia teórica.

**Tabla 4:** Ganancia de Potencia vs Intensidad Teóricas.

$Ap \pm 0,00295$	$Intensidad (A) \pm 0,0008$
$4,72 \times 10^{-8}$	$1,22 \times 10^{-6}$
$4,30 \times 10^{-6}$	$1,02 \times 10^{-4}$
$4,51 \times 10^{-5}$	$1,07 \times 10^{-3}$
$1,67 \times 10^{-4}$	$3,98 \times 10^{-3}$
$1,84 \times 10^{-4}$	$4,36 \times 10^{-3}$

Fuente: Autores, 2021

**Gráfico 3:** Relación Ganancia de Potencia e Intensidad.



Fuente: Autores, 2021

Este gráfico muestra la relación entre la ganancia de potencia ( $A_p$ ) y la intensidad del sonido, aquí se puede inferir que a medida que aumenta la ganancia de potencia, la intensidad también lo hace. Además, la gráfica incluye el origen de coordenadas, con lo que se deduce que la intensidad del sonido es directamente proporcional al nivel de ganancia de potencia teóricos. Las barras de error son imperceptibles debido a su bajo valor y por ello no han podido representarse.

#### **Análisis de datos**

Como se puede denotar de las tablas y gráficas presentadas, especialmente luego del proceso matemático de linealización, la intensidad del sonido sigue una tendencia creciente en relación al nivel de ganancia suministrado al amplificador, contrastando de manera armónica con la hipótesis

planteada. En el caso de los resultados experimentales no se da una tendencia directamente proporcional entre las magnitudes de ganancia e intensidad, no así en el análisis teórico, lo cual puede deberse a factores que no fueron considerados.

## Conclusiones

Gracias a la experimentación y a la interpretación de los datos estudiados se ha podido llegar a responder la pregunta “¿De qué manera la intensidad del sonido de las notas de una guitarra eléctrica depende del nivel de ganancia suministrado a través de un amplificador?” y la hipótesis planteada al principio de esta investigación, en la cual se predecía un incremento en la intensidad sonora a medida que aumentaba la ganancia suministrada, al comparar los Gráficos 1 y 2 se llega a la conclusión de que, si el nivel de ganancia es menor, el nivel de intensidad sonora disminuirá dependiendo del nivel de ganancia y viceversa. Esto también se ha podido comprobar a la hora de la experimentación, ya que, al disminuir el nivel de ganancia del amplificador, se puede comprobar que el sonido que emite el amplificador es mucho menor, que cuando se suministra un mayor nivel de ganancia. En este sentido y teniendo en consideración la conclusión emitida, los músicos que necesiten modificar el sonido de su amplificador, deberían aumentar el nivel de ganancia, si quieren que el sonido sea más fuerte.

Un plan de mejora de esta monografía puede ser el estudiarlo utilizando variables diferentes como puede ser el volumen en lugar del nivel de ganancia suministrado, ya que se podría simplemente medir todo con un sonómetro y esto ayudaría a tener mediciones con mayor exactitud. El siguiente punto a mejorar sería la experimentación, realizándola en un lugar más controlado, similar a un estudio de grabación o revestido de corcho como aislante acústico, para evitar ruido externo que afecta al resultado de la investigación planteada; también se podría estudiar el efecto del grosor del revestimiento de corcho sobre el ruido externo y la calidad del sonido. Además, resultaría importante realizar un estudio del efecto de la temperatura o el sitio geográfico (altitud) en el que se encuentre el instrumento musical, sobre la intensidad y afinación del mismo, ya que los músicos utilizan sus instrumentos en distintos lugares. Por otra parte, también se podrían abordar los factores que influyen sobre el ruido, tales como la temperatura, el empleo de radiaciones ionizantes o no ionizantes, lo cual ayudaría de manera decisiva en mejorar los procesos, para la industria de fundición de metales.

Otro estudio que podría realizarse y que lo mencionan Marsano y Roco (2021), consiste en determinar si los parámetros acústicos del sonido, grabados mediante un teléfono inteligente, son mejores o peores que aquellos que se obtendrían grabándolos con un micrófono. Esto por cuanto, los cantantes graban sus producciones y es importante hacerlo con parámetros óptimos de timbre, intensidad, tono, etc.

## Referencias

1. Acústica, G. d. (2003). Grupo de Acústica. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <http://www.ehu.es/acustica/bachillerato/casoes/casoes.html>
2. Alier, M. (5 de mayo de 2016). Aprendiz De Luthier. Recuperado el 28 de agosto de 2021 de <https://aprendizdeluthier.com/como-funciona-una-guitarra-electrica/>
3. Allum, J., y Talbot, C. (2016). Física IB Diploma. Madrid: Vicens Vives.
4. Álvarez Amable, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de ArmasMestre, J., y Rivero Llop, M. L. (2017). Contaminación ambiental por ruido. Revista Médica Electrónica, 39(3), 640-649.
5. Andresinho. (2011). Amplificador secuencial pequeño. Murcia. Recuperado el 5 de enero de 2021 <https://apuntesdeelectronica.files.wordpress.com/2011/10/amplificacion-amplif-de-sec3b1al-pequec3b1a.pdf>
6. Behringer. (2018). Woodbrass. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <http://www.woodbrass.com/images/woodbrass/BEHRINGER+VT+50+FX.PDF>
7. DecibelX. (2019). Skypaw. Recuperado el 17 de feberero de 2021 de <https://skypaw.com/decibel10.html>
8. Díaz, R. E. (2007). Acondicionamiento acústico- Temas teóricos. Recuperado el 3 de marzo de 2021 de <https://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/01-ACUSTICA-FISICA-1.pdf>
9. Encarnación, E. S. E., Hernandez-Gonzalez, L., Garcia, J. C. S., Ramirez-Hernandez, J., y Juarez-Sandoval, O. U. (2020). Modified Resonant Z Circuit Analysis by Capacitive Power Transfer. In 2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (Vol. 4, pp. 1-6). IEEE.
10. Llosas Albuern, Yolanda, Pardo Gómez, Jorge, Mulet Hing, Mónica, y Silva Cutiño, Jorge (2009). ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL RUIDO INDUSTRIAL COMO UNA FORMA DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. Tecnología Química, XXIX(2),5-9.[fecha de

- Consulta 7 de Agosto de 2021]. ISSN: 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543759001>
11. Manso, F. [Electrónica FP]. (19 de noviembre de 2018). ¿Ganancia adimensional o en deciBelios? (dB 1) [Archivo de video]. Recuperado el 25 de junio de 2021 de <https://www.youtube.com/watch?v=GOutorFbU6g>
  12. Marsano-Cornejo, M. J., y Roco-Videla, Á. (2021). Comparación de parámetros acústicos obtenidos con diferentes teléfonos inteligentes y un micrófono profesional. *Acta Otorrinolaringológica Española*.
  13. Martín, O. S. (6 de noviembre de 2018). LEM Laboratorio de enseñanza musical. Obtenido de <https://www.academialeem.com/cual-es-la-diferencia-entre-ganancia-y-volumen-para-un-amplificador-de-guitarra/#:~:text=La%20ganancia%20controla%20la%20se%C3%B1al,al%20amplificador%20proveniente%20del%20instrumento.&text=La%20ganancia%20si%20la%20empezamos,e>
  14. Martínez, A. (22 de Julio de 2021). Concepto definición. Recuperado el 25 de julio de 2021 de <https://conceptodefinicion.de/acustica/>
  15. Montero, M., Veneciano, B., y Bravo, B. (2019). La guitarra eléctrica. Resolución de problemas sobre inducción electromagnética. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 531-539.
  16. Olmo, M. (s.f.). hyperphysics. Recuperado el 20 de abril de 2021 de [http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/intens.html#:~:text=El%20enfoque%20m%C3%A1s%20com%C3%BAAn%20para,0%20decibelios%20\(0%20dB\).](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/intens.html#:~:text=El%20enfoque%20m%C3%A1s%20com%C3%BAAn%20para,0%20decibelios%20(0%20dB).)
  17. Pereira Ruisánchez, D., Alvarez Cesar, F., Pérez Adán, D., Fontes Pupo, E., y Díaz Hernández, R. (2019). Análisis del comportamiento de la ganancia de SFN para DTMB. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 40(1), 71-80.
  18. Pizetta, DC, Wanderley, AB, Mastelaro, VR y Paiva, FF (2017). Una evaluación experimental del tubo de ondas sonoras estacionarias. *Revista Brasileña de Educación Física*, 39.
  19. Rob. (2010). Matemáticas con dB. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de [http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/MPC/Wireless/02-Matematicas\\_con\\_dB-es-v1.12-notes.pdf](http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/MPC/Wireless/02-Matematicas_con_dB-es-v1.12-notes.pdf)
  20. TRanslatorCafe. (23 de febrero de 2021). Recuperado el 20 de noviembre de 2020 de <https://www.translatorscfe.com/unit-converter/es-ES/dbm/>
  21. Ziggysono. (s.f.). Obtenido de <http://www.ziggysono.com/pop/convert1.php>

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|