

Estudio de las perturbaciones en el campo magnético de las pastillas de una guitarra eléctrica debido a la influencia de las ondas electromagnéticas de un teléfono móvil

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas de una guitarra eléctrica y la intensidad del sonido emitido por esta?

Monografía de Física

3779 palabras

Índice

1. Introducción	2
2. El experimento	4
2.1 <i>Marco teórico</i>	4
2.1.1 Funcionamiento de una guitarra eléctrica.....	4
2.1.2 Funcionamiento de las redes móviles	5
2.2 <i>Montaje</i>	7
2.3 <i>Procedimiento general</i>	7
2.4 <i>Variaciones en la actividad del móvil</i>	9
2.5 <i>Datos brutos</i>	10
2.6 <i>Datos procesados</i>	12
2.6.1 Linealización	12
2.6.2 Gráficos	16
2.6.3 Obtención de la relación física	17
2.6.4 Ecuaciones del gráfico.....	19
2.6.5 Cálculo de la potencia emitida en los diferentes escenarios.....	21
3. Conclusión	23
4. Bibliografía y Webgrafía	26
5. Anexo	27
5.1 <i>Gráficos de forma logarítmica obtenidos en Reaper</i>	27
5.2 <i>Gráficos linealizados de los diferentes estados</i>	30

1. Introducción

Hoy en día la gran mayoría de la población mundial tienen en su posesión y utiliza diariamente un teléfono móvil. Este dispositivo junto con muchos otros utilizados cotidianamente usan ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas dan la posibilidad de transportar información a velocidades extremadamente rápidas, lo que provocó una revolución tecnológica comenzando por los ordenadores que ha evolucionado hasta los teléfonos inteligentes que tenemos hoy en día (Padilla Arzúzar & Garzón Barragán, 2008). Desde la popularización de los teléfonos móviles en los años 90 se ha estigmatizado el efecto de los campos electromagnéticos que emiten estos dispositivos; llegándose a estudiar este comportamiento como causa de tumores cerebrales, cáncer cerebral o tumores en las glándulas salival entre otros, pero todavía no se ha obtenido ninguna conclusión clara¹.

Si bien efectos tan graves no son probables que sucedan, es innegable que estas ondas existen y se pueden medir. Yo las aprecié cuando tocando la guitarra eléctrica, acerqué sin querer el móvil a las pastillas y se escuchó una especie de distorsión relacionada con esta acción.

De esta observación surgió la siguiente pregunta de investigación:

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

Por lo tanto, en esta monografía se hará un estudio de la relación entre la distancia del móvil con la pastilla, y si se ve reflejado con la intensidad de sonido emitido por este aparato. Estos efectos se evaluarán bajo diferentes estados, que serán parámetros o

¹<https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/cellular-phones.html>

condiciones en las que se pueden modificar las ondas que emite el teléfono, como por ejemplo; utilizar el móvil con wifi o en modo avión.

Esta monografía estará centrada en el aspecto práctico, llevando a cabo un experimento y midiendo las dos magnitudes entre las que se va a establecer una relación.

El enfoque que se va a tomar en esta monografía es el de identificar la relación entre la distancia y la intensidad sonora. Se cree que la relación va a estar presente y que las acciones que requieran de mayor procesamiento por parte del teléfono o mayor capacidad de red emitirán ondas con mayor potencia, lo que se traducirá como mayor intensidad sonora.

2. El experimento

2.1 Marco teórico

2.1.1 Funcionamiento de una guitarra eléctrica

La guitarra eléctrica es una variación de la guitarra española, que a su vez viene de la lira;

pero tiene el componente eléctrico. El componente eléctrico hace que esta guitarra pueda ser conectada y amplificada al nivel deseado, el cual en conciertos multitudinarios suele ser un nivel muy alto. Las guitarras clásicas utilizan una caja de resonancia para amplificar el sonido de las cuerdas, pero este se suele quedar corto en tales situaciones. Fue gracias a George Beauchamp, que en 1937 patentó la *Frying Pan*, para luego sacarla comercialmente como una guitarra que se conectaba a un amplificador para así, como el nombre indica, poder amplificar el sonido de las cuerdas de manera eléctrica hasta niveles que la acústica no llegaba ni llega (William, 2013).

En la *Figura 1* se puede observar el mecanismo que

tenía esta guitarra. En la esquina superior derecha de la imagen está el mecanismo que hace que este instrumento funcione. Este mecanismo consiste en una bobina alrededor de 6 imanes, uno para cada cuerda. Entre estos imanes se crea un campo magnético parecido al de un solenoide, como se muestra en la *Figura 2*. Las cuerdas de la guitarra están hechas

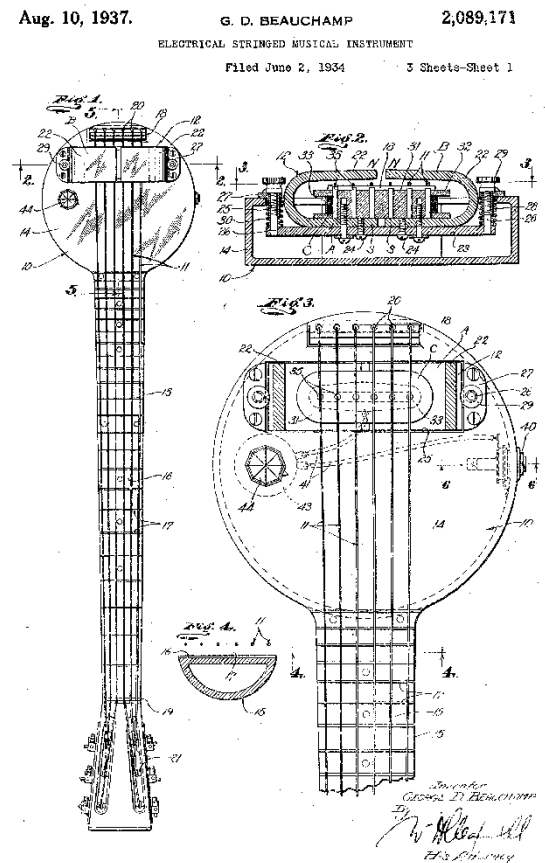


Figura 1: Patente de la Frying Pan, primera guitarra eléctrica de la historia. Obtenido de:

<https://guitarsexchange.com/en/psych-out/77/george-beauchamp/>

de un material ferromagnético, por lo que al hacerse oscilar provocan una perturbación en el campo magnético de los imanes en las pastillas (Horton & Moore, 2009). Esta perturbación en el campo magnético sigue las reglas de la inducción electromagnética, regidas por la ley de Faraday:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

La ecuación (1) nos dice que la fuerza electromotriz ε , el voltaje producido, es igual a la variación del flujo magnético, el cual provocamos con la oscilación de las cuerdas tocando el instrumento, por el número de espiras (Sancho, 2011).

Una vez obtenido el campo eléctrico, la guitarra transmite esta señal al dispositivo al cual esté conectado. Este transforma esta energía en señal analógica si se trata de un amplificador, o en señal digital si se trata de una tarjeta de sonido, como es el caso de este experimento.

2.1.2 Funcionamiento de las redes móviles

Los teléfonos por otra parte han tenido una evolución que comenzó con otros dos inventos que están muy relacionados: la radio y el telegrama. Esto comenzó en 1897 con la compañía creada por el inventor de este sistema de redes inalámbricas basadas en el electromagnetismo, Guillermo Marconi. Este sistema fue el precursor de las redes de telefonía móvil. Los teléfonos fueron concebidos por Lars Magnus Ericsson en 1876, pero no llegaron a comercializarse hasta 1946 en Estados Unidos. Este nuevo sistema se asemejaba al que está presente hoy en día y fue llamado “Radio-Telephone Service”, haciendo referencia al sistema de transmisión de ondas que utilizaban (Nassa, 2011).

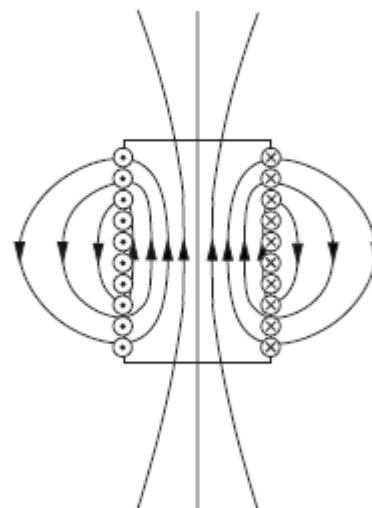


Figura 2: Campo creado por el imán de la guitarra. Obtenido de: (Horton & Moore, 2009).

Las primeras redes operaban en canales de la franja del espectro electromagnético de los 150 MHz. Eso fue evolucionando a lo largo de los años hasta llegar a los 900 MHz en los años 80. No obstante, con los avances de la tecnología digital se está intentando reducir la frecuencia de las ondas que se utilizan para la comunicación, siendo en la fecha del estudio realizado de 30 MHz, la cual los sitúa en la franja de radio en vez de la de microondas (Nassa, 2011).

En la actualidad, los teléfonos móviles funcionan con un intercambio de ondas entre la estación base y el dispositivo en dos sentidos. A estas ondas se las puede referir como radiación electromagnética o energía, ya que al fin y al cabo consiste en ondas electromagnéticas, que a su vez transportan energía. La radiación electromagnética en la estación base es mucho más potente que la del teléfono, como cabría esperar; siendo de alrededor de 60 W mientras que la del teléfono está entre 1 y 2 W. Pero las dos no emiten igualmente esta radiación. El teléfono móvil emite estas ondas en todas direcciones equitativamente, mientras que la estación base está mucho más centrada en una dirección (Hyland, 2000). Esta multidireccionalidad es beneficiosa para el experimento, ya que no importará como se sostenga el móvil, las pastillas recibirán la misma cantidad de radiación.

Otro aspecto importante sobre estos dispositivos es el campo magnético que va asociado al funcionamiento interno del teléfono móvil. En el estudio hecho por Hyland en 2000 se detectó un campo magnético asociado al simple funcionamiento de este dispositivo. Este consistía en una corriente eléctrica que se llevaba a cabo en la batería para incrementar el número de gente que puede utilizar la estación base. Esta frecuencia era de 217 Hz (Hyland, 2000). No obstante, el estudio no ha visto evolucionar estos dispositivos móviles de la manera tan exponencial que lo han hecho en los últimos años, está hecho con los dispositivos de la época. La frecuencia de este campo magnético habrá aumentado debido

a que hoy en día un teléfono móvil replica prácticamente el funcionamiento de un ordenador.

2.2 Montaje

Para realizar el experimento se va a necesitar una guitarra eléctrica, un amplificador, un teléfono móvil y cinta métrica. Se va a utilizar como guitarra una Squier Stratocaster; como amplificador utilizaré una tarjeta de sonido para así poder grabarlo igualmente con el ordenador, la tarjeta es la Behringer U-Phoria UM2; y como teléfono móvil un Samsung Galaxy S8. La guitarra estará conectada a la tarjeta de sonido mediante un cable Jack de 6,35 mm y esta actuará de conversor de analógico a digital (DAC²), conectado mediante USB al ordenador para poder analizar el sonido transmitido mediante la guitarra. En este experimento se utilizará una tarjeta de sonido en vez de un DAC independiente debido a la conveniencia de poder conectarlo directamente a un ordenador y obtener unos resultados muy similares a los que se obtendrían con un aparato más avanzado (Puts et al., 2005).

Una vez conectada al ordenador, la guitarra se dejará sobre una superficie horizontal y se utilizará la cinta métrica para medir la distancia a la que estará el móvil.

2.3 Procedimiento general

La obtención de datos en este trabajo se hará mediante un Digital Audio Workstation (DAW), que como su nombre indica, se utiliza para grabar y manipular audio grabado o

² Esto viene dado por la traducción inglesa Digital to Analog Converter

generarlo. En este caso se utilizará el DAW Reaper³ con los drivers de ASIO4ALL⁴, los cuales permitirán que la tarjeta de sonido se pueda conectar correctamente al ordenador.

Dentro de Reaper, se necesitará un analizador de espectro para poder ver las ondas emitidas. Se utilizará el plugin Voxengo Span⁵ porque permite hacer una gran variedad de ajustes en el espectro, que nos permitirá tener resultados más precisos. Los ajustes utilizados se pueden



Figura 3: Ajustes seleccionados dentro del Voxengo Span. Elaboración propia.

observar en la Figura 3. Los ajustes de la parte de *Display* fueron los óptimos para que el espectro se viera lo más cómodamente posible, ya que si se elevaban o bajaban mucho las frecuencias no se verían los puntos con claridad. En el apartado de *Block Size* se utiliza el más grande para una mayor definición, y finalmente en *Type* se ajusta para que muestre en el espectro todos los máximos que ha habido.

Una vez configurado Reaper, se crean diferentes pistas para las diferentes distancias que se registraran: 20,0; 15,0; 5,0; 4,0; 3,0; 2,0 y 1,0 cm. No se valorará la distancia de 0 cm debido a que más adelante verá que se utilizará un logaritmo, y esta función no está definida para 0; además, las grabaciones se hicieron con las cuerdas de la guitarra puestas, por lo que no se podía acercar el móvil lo suficiente a las pastillas. Una vez creadas las diferentes pistas se procede a grabar. La grabación se hará sosteniendo el móvil sin funda horizontalmente directamente encima de la pastilla del puente de la guitarra la distancia

³ <https://www.reaper.fm/index.php>

⁴ <https://www.asio4all.org/>

⁵ <https://www.voxengo.com/product/span/>

predefinida, y puesta para que solo grabe las señales recibidas en esa pastilla. Se repite este proceso para las diferentes distancias, todas grabando un tiempo ligeramente superior a 10 segundos para así poder recortar el trozo posterior a 10 segundos y que todas las grabaciones tengan la misma longitud.

2.4 Variaciones en la actividad del móvil

En el experimento se van a hacer diversas variaciones al estado del móvil o las aplicaciones que está ejecutando. Los diversos estados en los que va a estar son los siguientes: con solo wifi y en reposo; con el modo avión y en reposo; apagado; haciendo una llamada; reproduciendo una serie en Netflix; con datos móviles y en reposo; y haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas de la guitarra. También se registrará unos valores de referencia, que es la medida tomada sin ningún aparato electrónico cerca, a este lo denominaremos modo neutro. En este contexto se entiende por reposo el modo en el que entra el teléfono cuando apagas la pantalla solamente.

En estas variaciones se va a repetir exactamente el mismo experimento con exactamente las mismas condiciones y midiendo como variable independiente la distancia y como dependiente la intensidad sonora.

2.5 Datos brutos

Los datos procesados se han obtenido a partir de los máximos de una gráfica hecha por el Voxengo Span. Las tablas se muestran a continuación:

<i>Apagado</i>			<i>Modo avión y en reposo</i>		
Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)	Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)
20,0	5000	-74,5	20,0	3000	-82,8
15,0	5000	-72,9	15,0	3000	-82,8
10,0	5000	-72,9	10,0	3000	-82,1
5,0	5000	-72,6	5,0	3000	-82,7
4,0	5000	-72,3	4,0	2350	-79,9
3,0	5000	-71,4	3,0	2350	-76,7
2,0	4990	-70,4	2,0	2500	-52,1
1,0	5000	-69,5	1,0	2250	-53,7

Tabla 1: Datos obtenidos de Reaper utilizando el móvil apagado y en modo avión en reposo. La incertidumbre de la distancia ha sido cambiada debido a que el móvil no se aguantaba siempre exactamente a la misma distancia, por lo que se ha considerado un margen de error de 1 cm en vez de los 0,1 cm propios de la cinta métrica.

<i>Wifi y en reposo</i>			<i>Haciendo una llamada</i>		
Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)	Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)
20,0	3160	-76,6	20,0	2550	-79,3
15,0	3250	-81,5	15,0	3010	-78,6
10,0	489	-77,1	10,0	3000	-71,1
5,0	2250	-65,0	5,0	2000	-66,9
4,0	2290	-70,4	4,0	2500	-61,6
3,0	3010	-59,7	3,0	2500	-54,3
2,0	2750	-50,8	2,0	3000	-49,9
1,0	2520	-55,6	1,0	3000	-39,1

Tabla 2: Datos obtenidos de Reaper utilizando el móvil con wifi y en reposo y haciendo una llamada.

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

<i>Ejecutando Netflix</i>			<i>Datos móviles en reposo</i>		
Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)	Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)
20,0	3010	-81,8	20,0	3000	-82,4
15,0	487	-78,6	15,0	3010	-81,8
10,0	2920	-73,6	10,0	2400	-78,6
5,0	2500	-60,6	5,0	2650	-74,5
4,0	3000	-55,9	4,0	2640	-70,4
3,0	3000	-54,3	3,0	2100	-67,6
2,0	3000	-50,3	2,0	2480	-55,6
1,0	3500	-36,3	1,0	2000	-41,0
<i>Llamada con papel de aluminio</i>			<i>Modo neutro</i>		
Distancia r/cm (±1 cm)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)	Frecuencia f/Hz (± 10 Hz)	Intensidad sonora β/dB (± 0,1 dB)	
20,0	2950	-83,7	4040	-83,1	
15,0	4030	-84			
10,0	3010	-81,2			
5,0	3600	-65,7			
4,0	3600	-60,9			
3,0	3600	-57,5			
2,0	3600	-51,4			
1,0	3600	-41,3			

Tabla 3: Datos obtenidos a través de los gráficos utilizando el móvil ejecutando Netflix, con datos móviles en reposo, en llamada con papel de aluminio y la toma de control, donde no está la presencia del móvil, el cual se ha llamado modo neutro

En estas tablas se puede observar que generalmente las frecuencias coinciden o están en un rango similar, exceptuando en la *Tabla 1* y en la *Tabla 2*, donde hay dos frecuencias típicas de las que emiten las cuerdas de la guitarra.

2.6 Datos procesados

2.6.1 Linealización

Si representamos los datos de la *Tabla 1* que hacen referencia a cuando el móvil está apagado se obtiene el gráfico que se puede observar en la *Figura 4*.

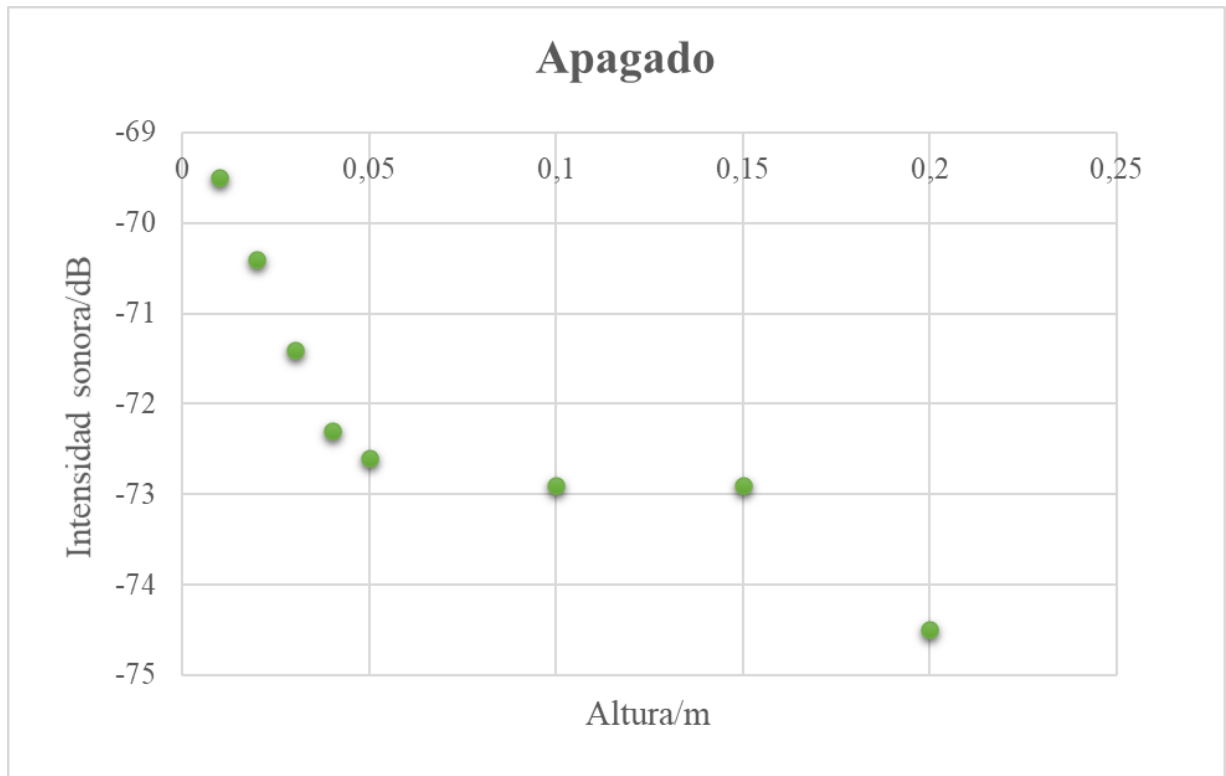


Figura 4: En este gráfico se puede observar los datos de la Tabla 1 puestos altura contra intensidad sonora. Las barras de error están presentes pero no son apreciables. Hecho con Microsoft Excel.

La forma o el patrón que hace este gráfico se repite en todos los gráficos de las demás variaciones, disponibles en el Anexo. Esta se podría asemejar a la presente en una gráfica de una función logarítmica negativa con una pendiente elevada. Se ha graficado la función $f(x) = -10\log(10)$ para verificar si esta relación se mantenía. Teniendo como punto de referencia la *Figura 5*, la forma de la *Figura 4* se asemeja a esta, y por lo tanto se va a aplicar el logaritmo en el parámetro de la altura para poder linealizar los valores que se han obtenido.

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

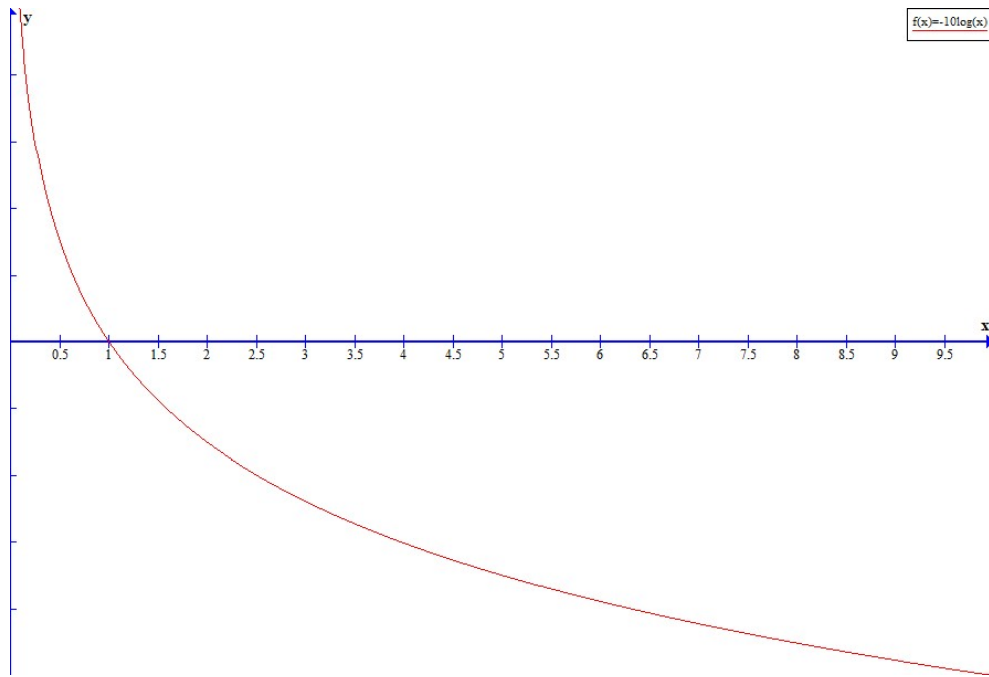


Figura 5: Función $f(x) = -10 \log(x)$, como se puede observar en la esquina superior derecha. Hecho con el software Graph, disponible en <https://www.padowan.dk/download/>

Pero estos logaritmos llevarán asociada una incertidumbre. Para calcular esta se utilizará el método de propagación de errores en logaritmos, cuya fórmula general es:

$$\log_a(x \pm \Delta x) = \log_a x \pm \frac{\Delta x}{x \ln a} \quad (2)$$

Aplicando los valores de nuestro experimento en la ecuación (2) se obtendrán las diferentes incertidumbres asociadas a cada medida. Utilizando como ejemplo la medida de 0,2m:

$$\begin{aligned} \log_{10}(0,2 \pm 0,001) &= \log_{10} 0,2 \pm \frac{0,001}{0,2 \ln 10} \\ &= \log_{10} 0,2 \pm 0,002 \end{aligned} \quad (3)$$

Se repite el proceso de la ecuación (3) para todos los valores. Como método de selección de error se utilizará el que más incertidumbre lleve asociada, que en este caso es 0,04. Esto se hace para estandarizar el error que tendrán todos los logaritmos calculados y

representados en la gráfica. Con estos datos se vuelve a hacer una tabla, que en este caso quedará dividido en: *Tabla 4* y *Tabla 5*.

	<i>Apagado</i>	<i>Wifi y en Reposo</i>	<i>Modo avión y en reposo</i>	<i>Llamada</i>	<i>Netflix</i>
Logaritmo de la distancia $\log(r)$ ($\pm 0,04$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)
-13,98	-74,5	-76,6	-82,8	-79,3	-81,8
-16,48	-72,9	-81,5	-82,8	-78,6	-78,6
-20,00	-72,9	-77,1	-82,1	-71,1	-73,6
-26,02	-72,6	-65,0	-82,7	-66,9	-60,6
-27,96	-72,3	-70,4	-79,9	-61,6	-55,9
-30,46	-71,4	-59,7	-76,7	-54,3	-54,3
-33,98	-70,4	-50,8	-52,1	-49,9	-50,3
-40,00	-69,5	-55,6	-53,7	-39,1	-36,3

Tabla 4: Tabla en la que se representan todas las intensidades sonoras frente al logaritmo de la distancia, con la incertidumbre del logaritmo obtenida siguiendo la fórmula de la ecuación (2). Esta incertidumbre no tiene unidades debido a que los logaritmos son unidimensionales.

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

	<i>Datos móviles en reposo</i>	<i>Llamada con papel de aluminio</i>
Logaritmo de la distancia $\log(r)$ ($\pm 0,04$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)	Intensidad sonora β/dB ($\pm 0,1 \text{ dB}$)
- 13,98	-82,4	-83,7
-16,48	-81,8	-84
-20,00	-78,6	-81,2
-26,02	-74,5	-65,7
-27,96	-70,4	-60,9
-30,46	-67,6	-57,5
-33,98	-55,6	-51,4
-40,00	-41,0	-41,3

Tabla 5: Los datos restantes que no cabían en la Tabla 4 y se han tenido que poner en una tabla en la línea siguiente.

2.6.2 Gráficos

Se procede a graficar los datos obtenidos en la *Tabla 4* y *5* para ver si la relación entre estas dos magnitudes se cumple, resultando en gráficos como la que se muestra en la *Figura 6*.

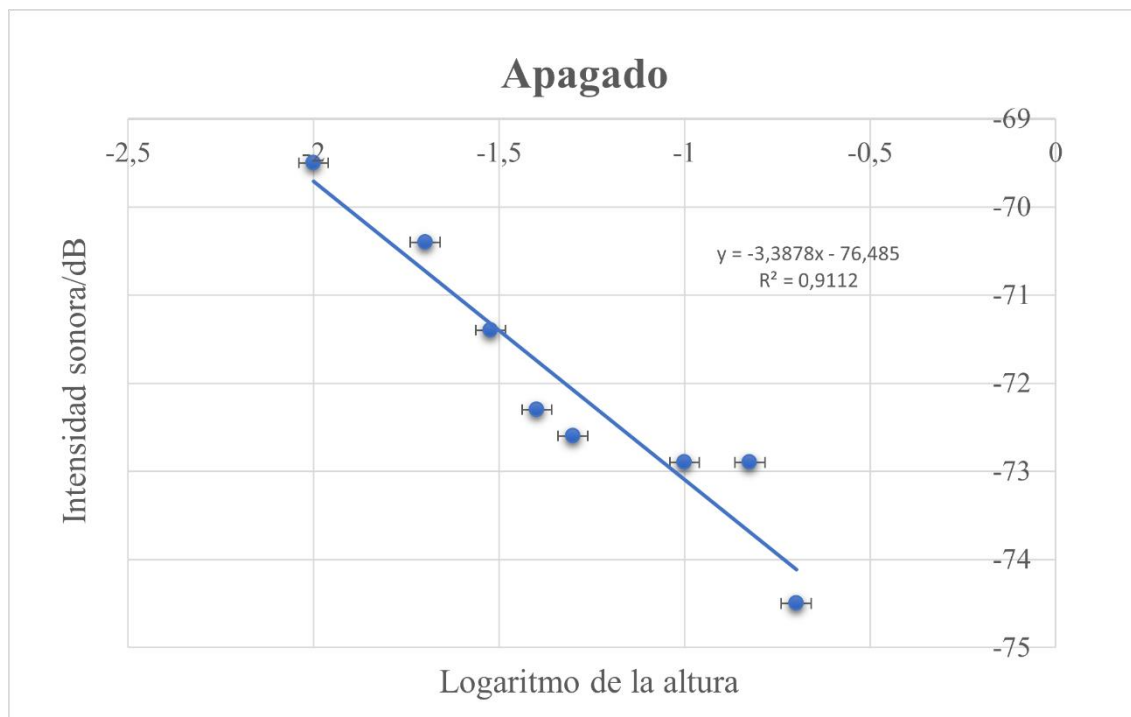


Figura 6: En este gráfico están representados los datos de la Tabla 4 que corresponden a cuando está el móvil apagado. También se incluye la ecuación del gráfico y el coeficiente de Pearson. Las barras de error de la intensidad sonora están presentes en el gráfico pero no son apreciables. Hecho con Microsoft Excel.

Se incluirán el resto de los gráficos en el anexo debido a que la información relevante para este experimento es la ecuación de la recta.

Todos los gráficos obtenidos muestran coeficientes de Pearson altos, siendo todos mayores que 0,75 exceptuando el que se obtiene en la gráfica del móvil cuando está en modo avión, que es 0,6651, como se puede observar en la *Tabla 6*. Esto nos dice que hay una correlación fuerte con todos los estados y la altura en forma logarítmica, menos en la ya mencionada, que tiene una correlación moderada. Esto se puede deber a un error sistemático o a algún factor de funcionamiento con las ondas de radio que hace el móvil cuando está en este modo.

Situaciones	Coefficiente de Pearson R
Apagado	0,9112
Wifi y en reposo	0,8242
Modo avión y en reposo	0,6651
Haciendo una llamada	0,9762
Reproduciendo Netflix	0,9899
Con datos móviles en reposo	0,894
Haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas	0,9786

Tabla 6: Diferentes coeficientes de Pearson asignados a cada situación del móvil.

2.6.3 Obtención de la relación física

El experimento realizado mide la corriente inducida por las ondas electromagnéticas del móvil, como se ha dicho en la introducción. Una característica de las ondas es su intensidad, la cual está relacionada con la potencia, que se habría transmitido de la onda a la corriente eléctrica generada por los imanes de la pastilla de la guitarra.

Utilizando la definición de los decibelios⁶:

$$\beta(dB) = 10 \log_{10} \left[\frac{I}{I_0} \right] \quad (4)$$

Donde β e I representan intensidad, pero β está en decibelios; e I_0 es una constante el umbral de audición estándar, y este hará de valor de referencia, el cual es 10^{-12}W/m^2 .

La intensidad que tenía la onda es igual a la potencia incidente en un área, en este caso al ser una onda electromagnética su forma es una esfera. El área de una esfera es:

⁶ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/intens.html>

$$A = 4\pi r^2 \quad (5)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (4):

$$\beta = 10 \log \left[\frac{P}{A} \cdot \frac{1}{I_0} \right] = 10 \log \left[\frac{P}{4\pi r^2} \cdot \frac{1}{I_0} \right] \quad (6)$$

La r presente en la ecuación (5) y por consecuencia en la ecuación (6) es el radio de la onda, el cual aumenta a medida que la onda avanza de la fuente de su origen. La variable independiente de este experimento es la distancia de la fuente donde se produce la inducción, por lo que se va a intentar aislar esta variable.

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \log \left[\frac{P}{4\pi r^2} \cdot \frac{1}{I_0} \right] \\ &= 10 \left[\log \left(\frac{P}{4\pi r^2} \right) - \log(I_0) \right] \\ &= 10 [\log P - \log(4\pi r^2) - \log I_0] \\ &= 10 [\log P - \log 4\pi - \log r^2 - \log I_0] \\ &= 10 \left[\log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right) - \log r^2 \right] \\ \beta &= \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right)^{10} - 20 \log r \quad (7) \end{aligned}$$

De esta manera se obtiene la ecuación (7), la cual nos da la relación que se debería observar en los gráficos vistos, la ecuación presente en los gráficos.

En el siguiente apartado se verá la relación entre las ecuaciones obtenidas de los gráficos con esta ecuación (7).

2.6.4 Ecuaciones del gráfico

Situaciones	Ecuaciones
Apagado	$y = -3,3878x - 76,485$
Wifi y en reposo	$y = -22,687x - 96,704$
Modo avión y en reposo	$y = -24,292x - 105,81$
Haciendo una llamada	$y = -31,502x - 103,72$
Reproduciendo Netflix	$y = -34,796x - 106,85$
Con datos móviles en reposo	$y = -30,404x - 108,68$
Haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas	$y = -35,542x - 112,11$

Tabla 7: Ecuaciones obtenidas de los gráficos presentes en el anexo, donde se ponen las ecuaciones de cada correspondiente situación.

Estas ecuaciones deberían asemejarse a la presente en la ecuación (7). Por lo tanto las pendientes deberían ser aproximadamente -20. Esto se cumple hasta cierto punto, excluyendo cuando el móvil está apagado. Para las gráficas se ha intentado hacer rectas de máximo y mínimo ajuste pero para la mayoría de los datos, excluyendo cuando se está ejecutando Netflix, resultaban en las rectas de máximo y mínimo pendiente teniendo una pendiente menos que la original. Es por esto por lo que no se tomarán en cuenta.

$$\beta = -20 \log r + \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right)^{10} \quad (8)$$

$$y = mx + n \quad (9)$$

La ecuación (8) nos compara lo que debería de ser la función de la intensidad en decibelios y el logaritmo de la altura. En la *Tabla 6* las pendientes están todas en un rango de error porcentual del 82%. Esto es un error grande, pero al tratarse de una conversión a logaritmos se va a asumir que esta pendiente está en el rango estimado. Además, el

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

término que nos interesa es el factor del desplazamiento, el cual en la ecuación (9) se presenta como n . Igualando este factor a su correspondiente en la ecuación (8) nos queda:

$$n = \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right)^{10} \quad (10)$$

2.6.5 Cálculo de la potencia emitida en los diferentes escenarios

Como se ha comentado anteriormente, la intensidad medida en la fórmula de la intensidad en decibelios es la que emitía la onda, así que mediante la ecuación (10) se puede obtener la potencia de las ondas electromagnéticas emitidas por el teléfono móvil y como varían dependiendo del estado.

Partiendo de la ecuación (10),

$$n = \log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right)^{10}$$

$$n = 10 \log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right)$$

$$\frac{n}{10} = \log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right)$$

$$10^{\frac{n}{10}} = 10^{\log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right)}$$

$$10^{\frac{n}{10}} = \frac{P}{4\pi I_0}$$

$$P = 4\pi I_0 \cdot 10^{\frac{n}{10}} \quad (11)$$

Una vez obtenida la ecuación (11) se pueden calcular todas las potencias para las diferentes situaciones. Se va a hacer una demostración calculando la potencia del móvil haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas. Para calcular el valor se va a coger el desplazamiento del origen que ha sufrido la función, por lo que será el valor absoluto de la función, no el que tiene el signo negativo.

$$P = 4\pi I_0 \cdot 10^{\frac{|n|}{10}} = 4\pi \cdot 10^{-12} \cdot 10^{\frac{112,11}{10}} = 2,042724812 \quad (12)$$

$$P \approx 2,04 \text{ W}$$

¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

Utilizando la ecuación (11) se obtienen las potencias de las diferentes situaciones:

Situación	Potencia P/W
Apagado	0,00055938
Wifi y en reposo	0,058831
Modo avión y en reposo	0,47886
Haciendo una llamada	0,29594
Reproduciendo Netflix	0,60843
Con datos móviles en reposo	0,92728
Haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas	2,0427

Tabla 8: Tabla con todas las potencias en las diferentes situaciones a las cuales ha sido sometida el móvil. Se han puesto todos los datos con 5 cifras significativas debido a que éstas eran las presentes en el valor del desfase y el primer valor, el del móvil apagado, no sería apreciable.

3. Conclusión

En conclusión, sí que existe una relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por la guitarra eléctrica, como se puede observar en la *Figura 6* y en el resto de gráficos del anexo; en los cuales la intensidad sonora aumenta a medida que se acerca el móvil a las pastillas. Esta dependencia se ha obtenido gracias a la linealización llevada a cabo y a la pendiente resultante de ella. Las pendientes en estos casos son relativamente cercanas a 20, como tendría que haber resultado, comparándola con la ecuación (8), la fórmula que se obtuvo de la relación teórica que debería adoptar. No obstante, se desvían notablemente cuando el móvil está apagado, reproduciendo Netflix y haciendo una llamada con papel de aluminio alrededor de las pastillas; viendo las ecuaciones de la *Tabla 7*.

Cuando el móvil está apagado, esta diferencia se puede deber a que en este modo el móvil no está activamente emitiendo ni recibiendo radiación, por lo que la pastilla no detecta ninguna perturbación en el campo magnético provocada por el móvil. Esto se puede corroborar gracias a los resultados obtenidos en la *Tabla 8*, donde se observa que cuando el móvil está apagado se emite una potencia despreciable. En este caso la diferencia de pendiente que se aprecia en la *Figura 6*, mostrándose -3 cuando tendría que haber resultado -20, podría ser causada por el hecho de que el móvil tiene componentes que pueden ser ferromagnéticos en su interior, y estos, al entrar en contacto con el campo magnético de las pastillas, adquieren propiedades magnéticas y provocan una variación en el flujo magnético. Este último aspecto no sería apreciable en el resto de pruebas debido a que la emisión y recepción de ondas electromagnéticas eclipsarían este factor.

Haciendo una llamada se obtuvo un resultado no esperado. Lo que ocurre en este proceso es un flujo constante de ondas electromagnéticas tanto de mensajes emitidos como de

mensajes recibidos, por lo que se esperaría que hubiera una gran perturbación debido a estas ondas. En este experimento se hizo una llamada sin hablar, estando completamente en silencio, por lo que se emitían y recibían ondas con poca energía, debido a las bajas frecuencias que se tenían que transmitir. Es por esto por lo que se cree que la potencia obtenida en la *Tabla 8* es tan baja.

Cuando se envolvió el papel de plata en las pastillas, en cambio, la potencia de las ondas se hizo casi 7 veces mayor que la original. Esto se puede atribuir a que este material estará incrementando las variaciones del flujo magnético en las pastillas, provocando así un aumento en la intensidad de sonido emitida.

En el caso de cuando está reproduciendo Netflix tendrá algo más que ver con los circuitos internos del móvil. Toda la tecnología que utilizamos hoy en día depende del electromagnetismo, y el teléfono inteligente no es una excepción. Para que su motor gráfico funcione hace uso de estas ondas electromagnéticas. Se cree que esta es la causa de la variación del flujo magnético en las pastillas de la guitarra, ya que si bien recibe radiación en forma de wifi, esta en una gran parte no es apreciable por los instrumentos de medida y al recibir no perturban tanto el campo como lo harían las ondas que emitiera el dispositivo.

Comparando cuando está utilizando wifi o modo avión se obtiene un resultado inesperado; las ondas emitidas y recibidas en modo avión tienen más potencia que las de wifi, siendo las ondas de la primera de 478,86 mW y la segunda de 58,831 mW, según la *Tabla 8*. Para entender esta diferencia hay que comprender una de las principales limitaciones de este experimento: el rango de frecuencias recibido. Las pastillas de la guitarra y el DAC están limitados debido a como están construido y su utilidad, con cuerdas de una guitarra no llegarás a hacer nunca ondas de frecuencias muy elevadas, por lo que este mecanismo no es necesario. El wifi es un sistema de ondas electromagnéticas

que traslada información a frecuencias muy elevadas y de ahí viene su gran eficiencia. El modo avión en cambio, emite frecuencias que no pertenezcan a un rango muy alto para así no interferir con las comunicaciones entre los pilotos y las torres de control de los aviones. Por esta razón se ha detectado más intensidad sonora en el modo avión, debido a que se captaron más frecuencias de las ondas emitidas en modo avión que las emitidas con wifi.

En el caso restante, cuando se están utilizando los datos móviles en reposo, se obtiene un resultado bastante elevado, más del que cabría esperar. Este se cree que se debe a lo mismo que el resultado de las ondas en el modo avión, unas ondas con frecuencias más bajas que son más fáciles de detectar por las pastillas y por ende aparecen con más energía.

La limitación de este experimento han sido los aparatos de medida utilizados para la intensidad de sonido. Con aparatos de medida de más rango de frecuencia se podría establecer una medida más exacta de la relación que hay entre esta distancia y las pastillas y averiguar las propiedades de las ondas emitidas por los móviles, pero dado el propósito de esta monografía, los materiales utilizados han podido probar la relación que existe entre la distancia del móvil de la pastilla de la guitarra y la intensidad de sonido.

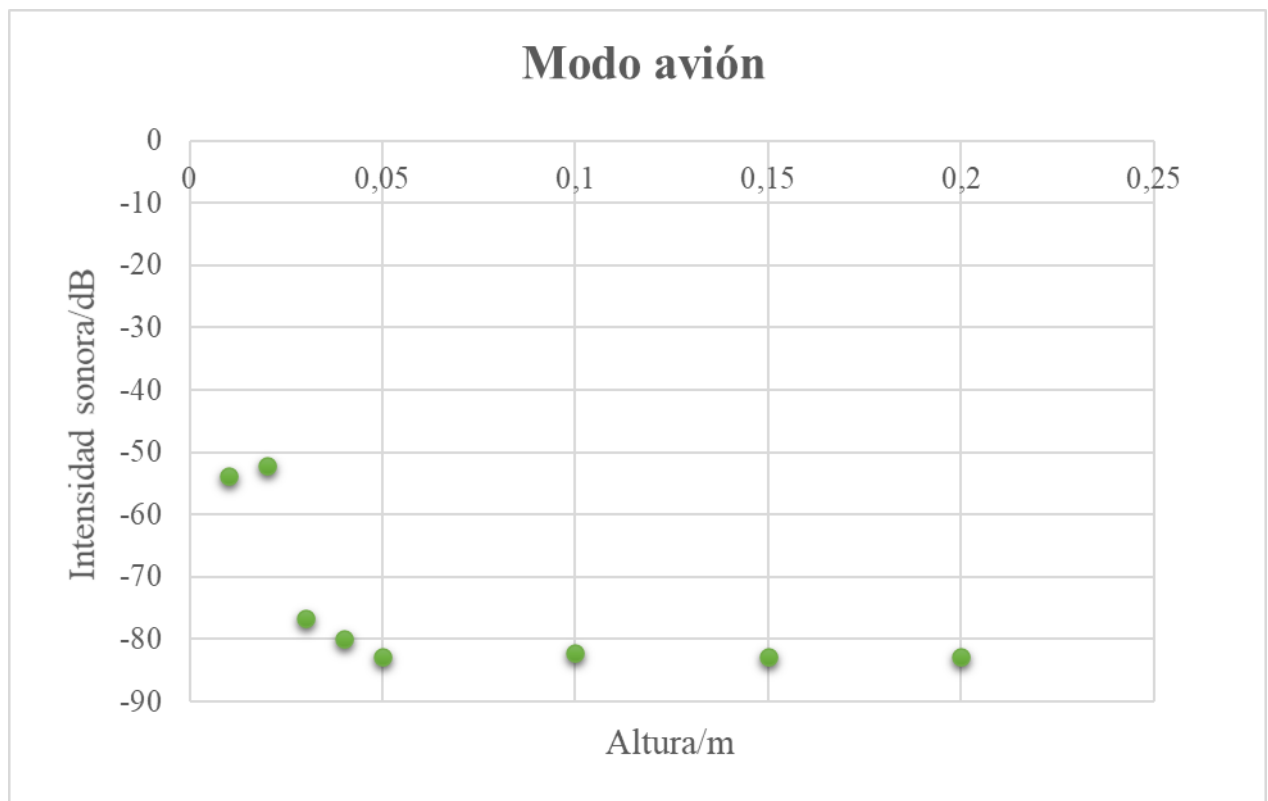
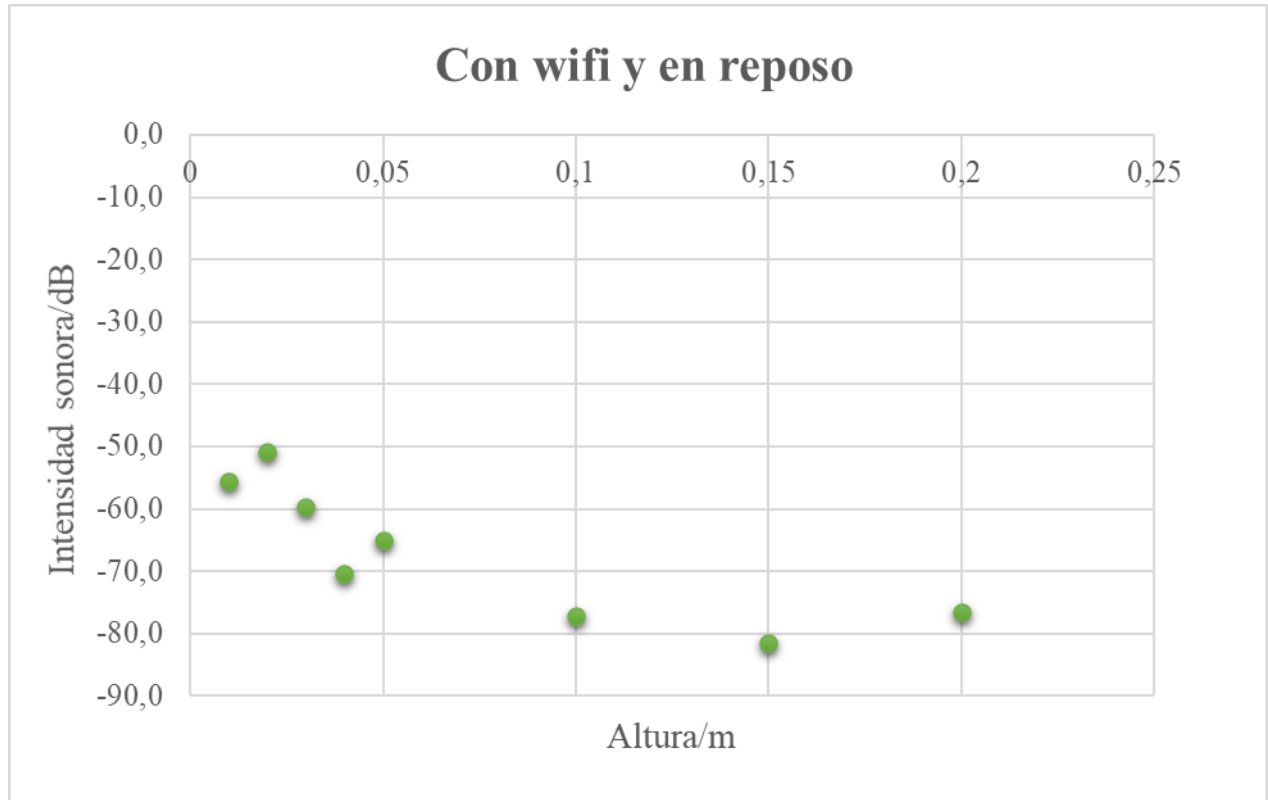
4. Bibliografía y Webgrafía

- American Cancer Society (2021). Cellular (Cell) Phones Radiation Exposure. Disponible en: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/cellular-phones.html>. [Fecha de consulta: 21/12/2021]
- Carl R. (2005). Intensidad del sonido. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/intens.html>. [Fecha de consulta: 21/12/2021]
- Horton, N. G., & Moore, T. R. (2009). Modeling the magnetic pickup of an electric guitar. *American Journal of Physics*, 77(2), 144–150. <https://doi.org/10.1119/1.2990663>
- Hyland, G. J. (2000). Physics and biology of mobile telephony. *The Lancet*, 356, 1833–1836.
- Nassa, V. K. (2011). Wireless Communications: Past, Present and Future. *Dronacharya Research Journal*, 3(2).
- Padilla Arzúzar, D., & Garzón Barragán, I. (2008). *El teléfono celular: una estrategia didáctica para la enseñanza del electromagnetismo*. <https://doi.org/https://doi.org/10.17227/ted.num24-395>
- Puts, M. J. H., Pokorny, J., Quinlan, J., & Glennie, L. (2005). Audiophile hardware in vision science; The soundcard as a digital to analog converter. *Journal of Neuroscience Methods*, 142(1), 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2004.07.013>
- Sancho, C. (2011). MONOGRÁFICO SOBRE CIENCIA RECREATIVA Faraday y la guitarra eléctrica. In *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (Vol. 8). <http://hdl.handle.net/10498/14544>
- William, M. (2013). *George Beauchamp and the Rise of the Electric Guitar up to 1939*. <http://hdl.handle.net/1842/9489>

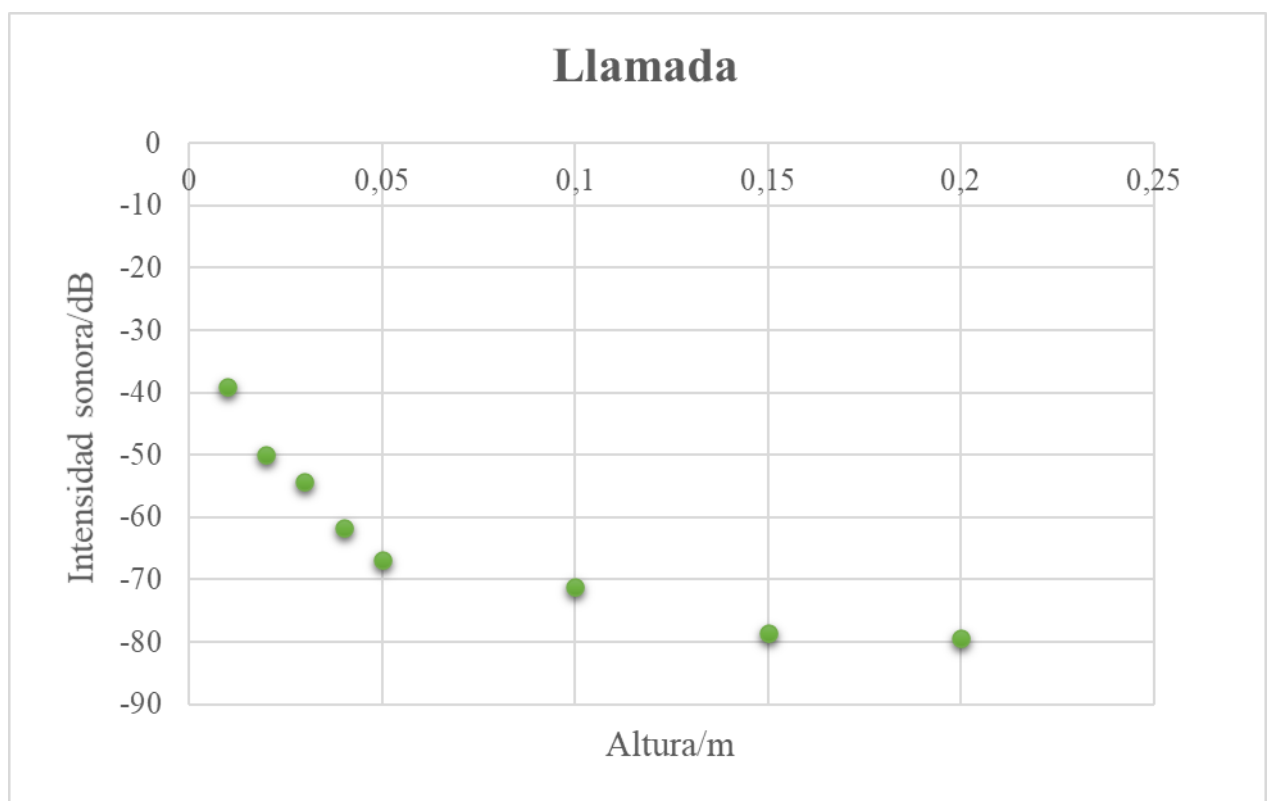
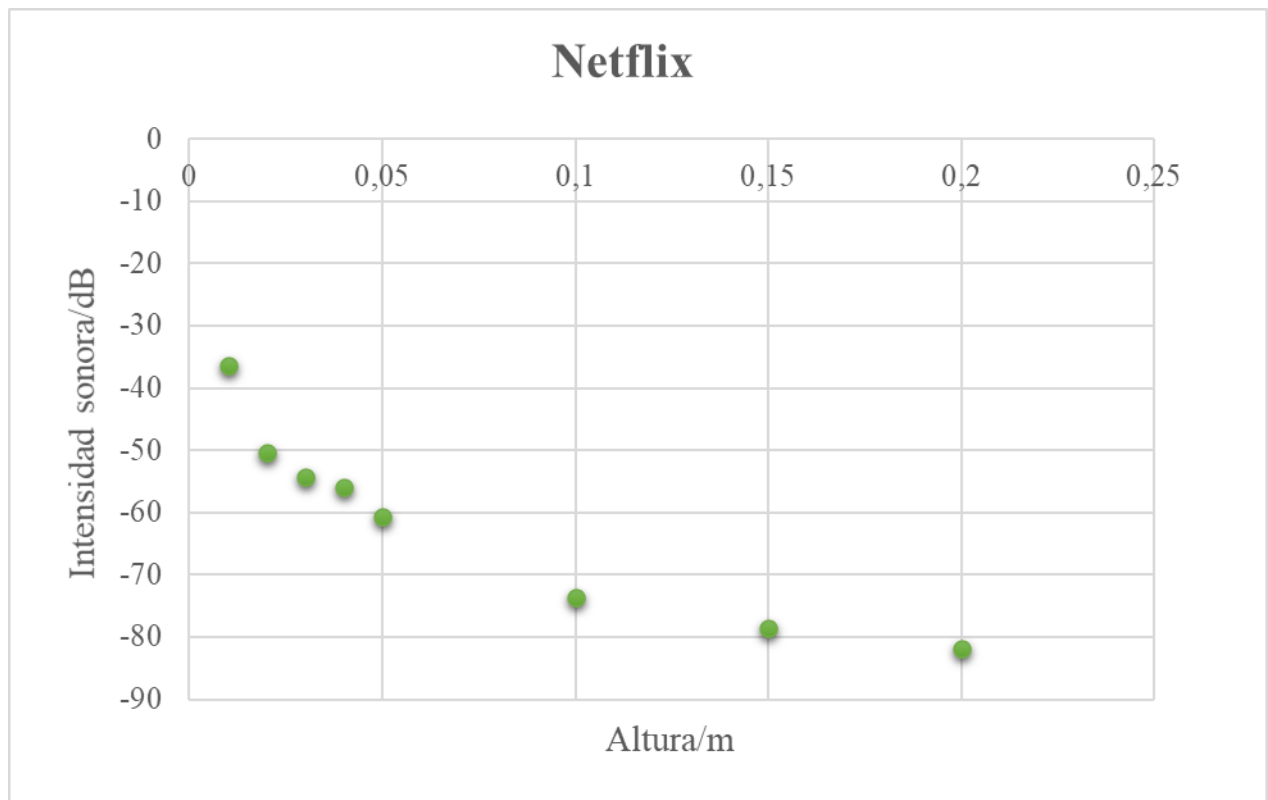
¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

5. Anexo

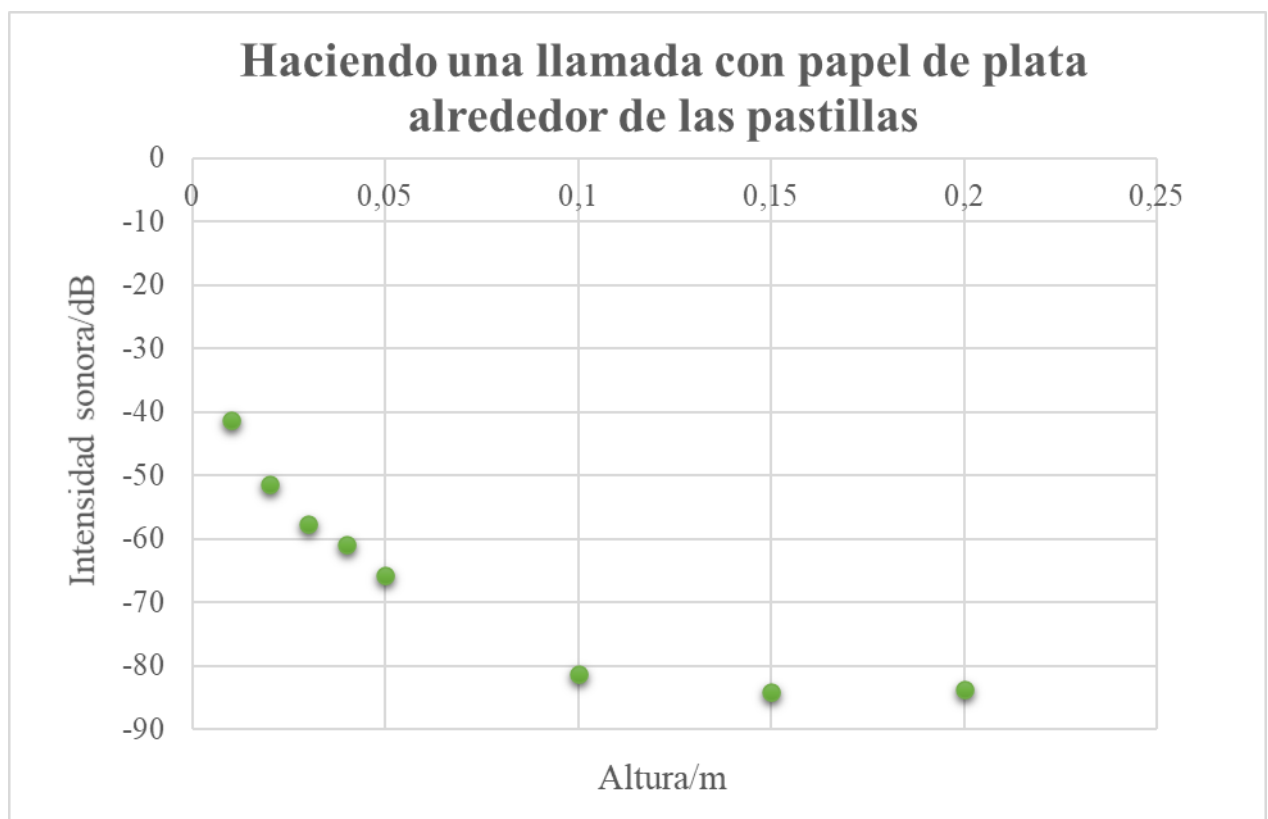
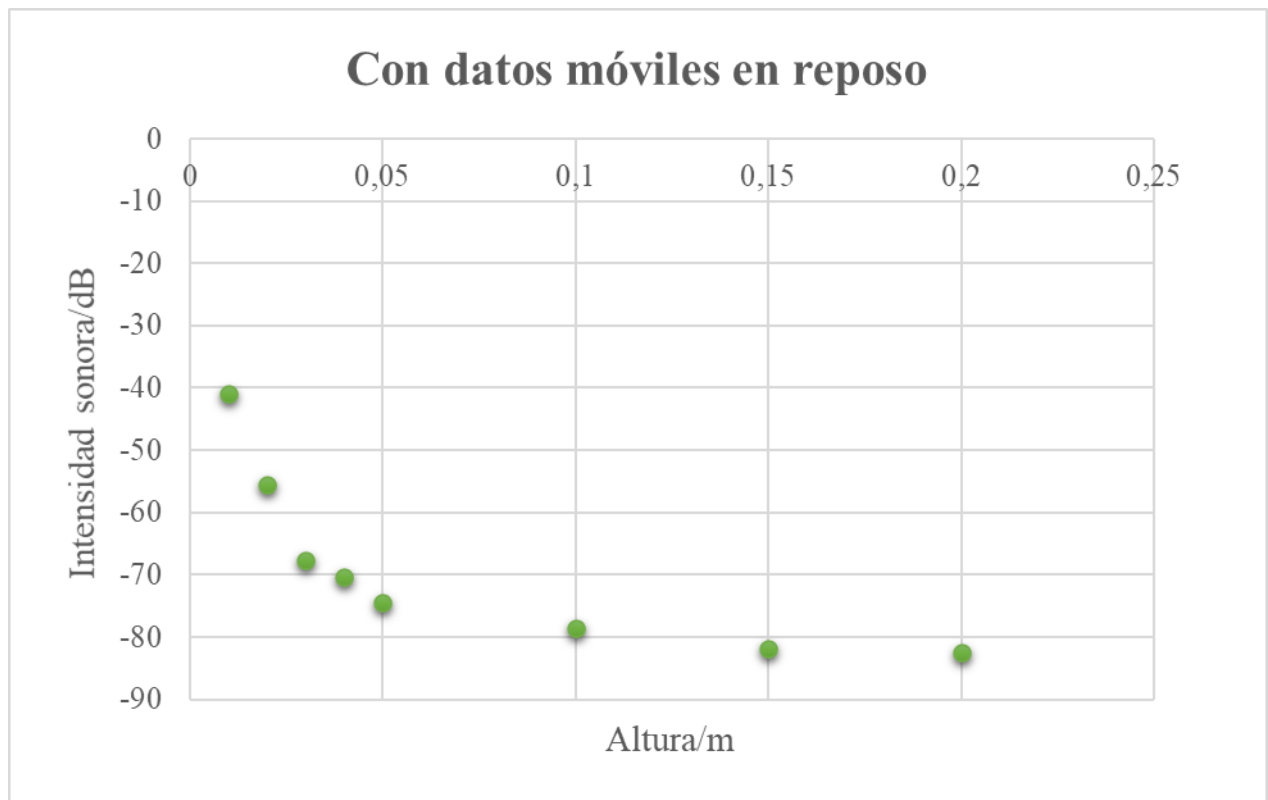
5.1 Gráficos de forma logarítmica obtenidos en Reaper



¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

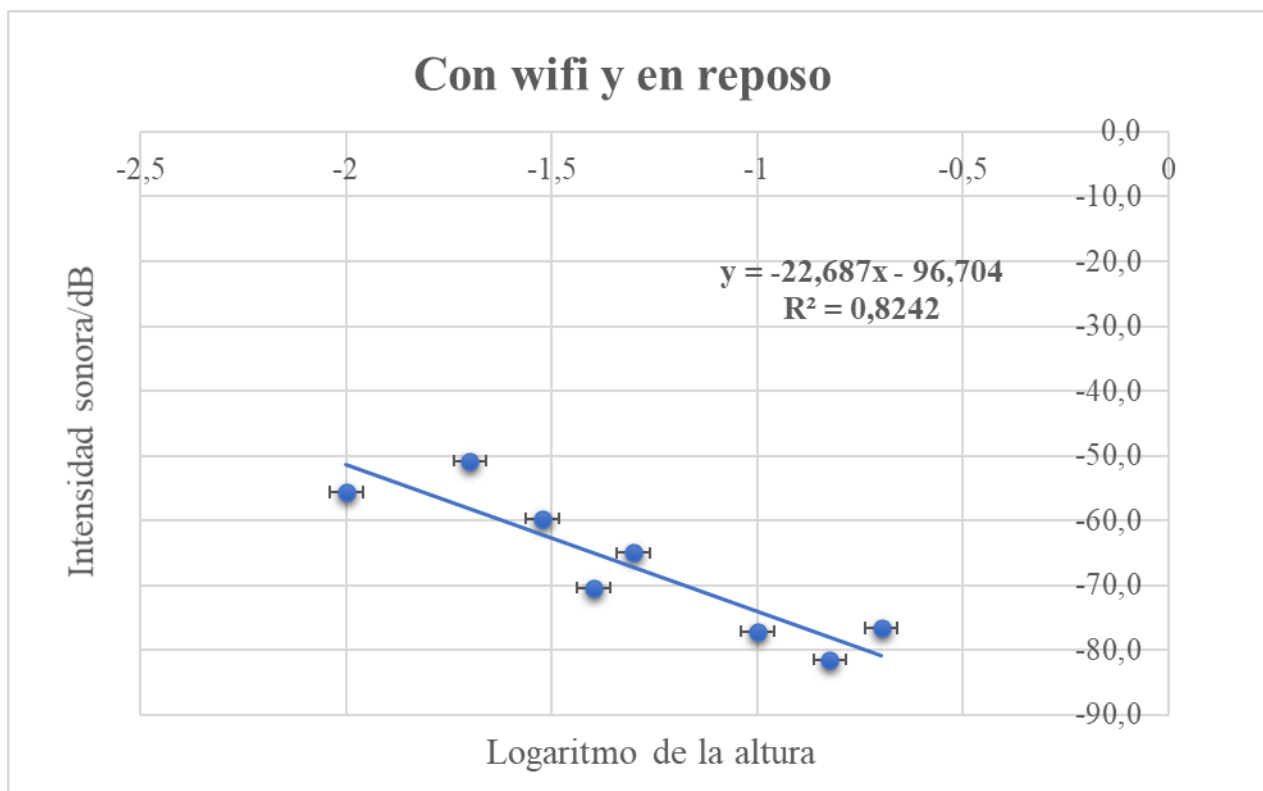
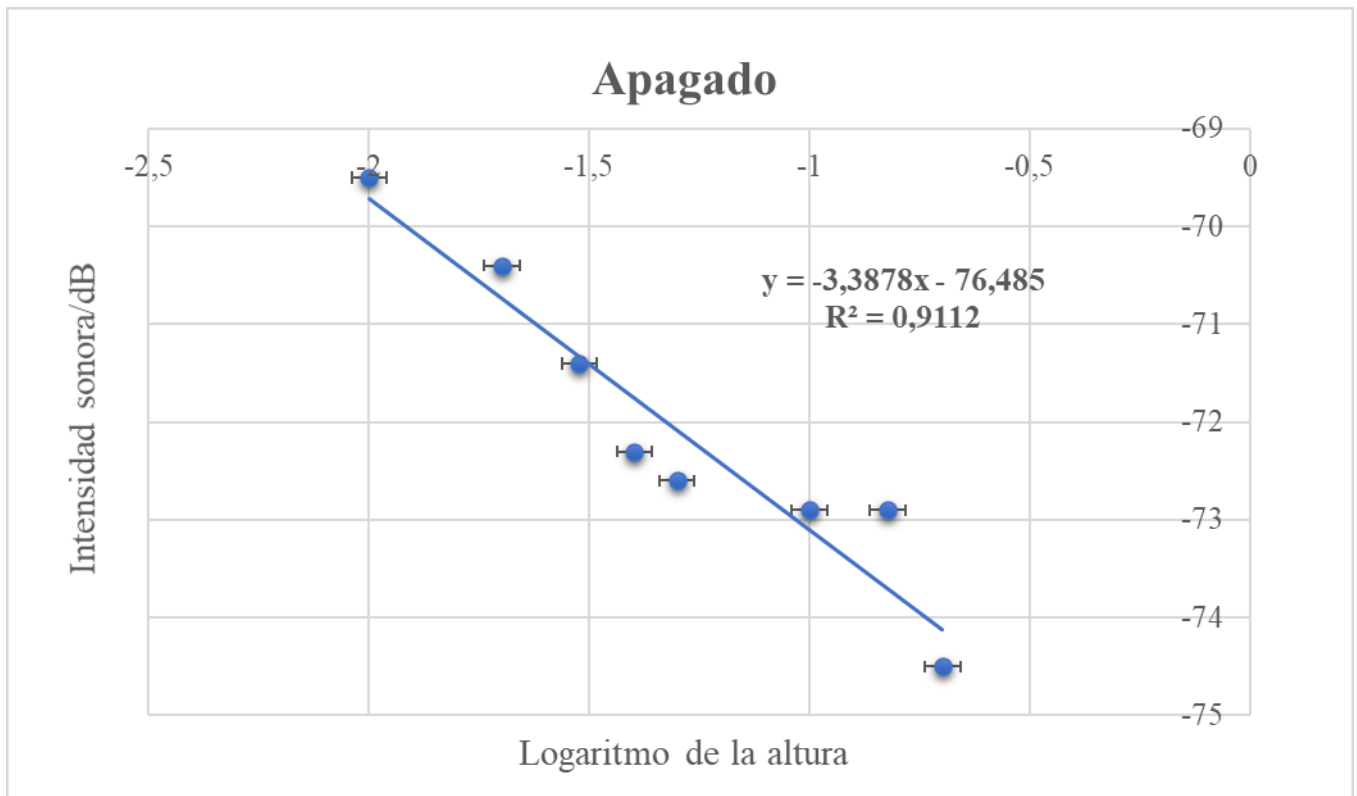


¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

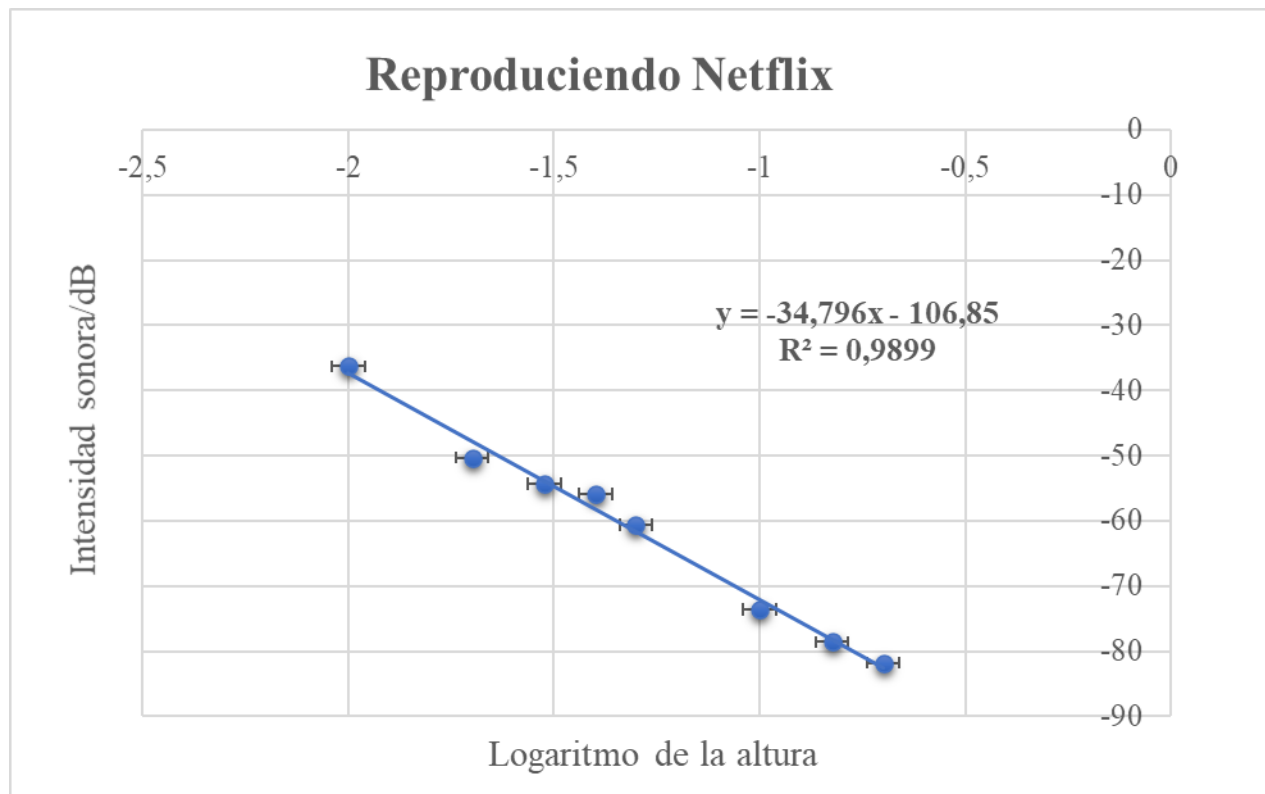
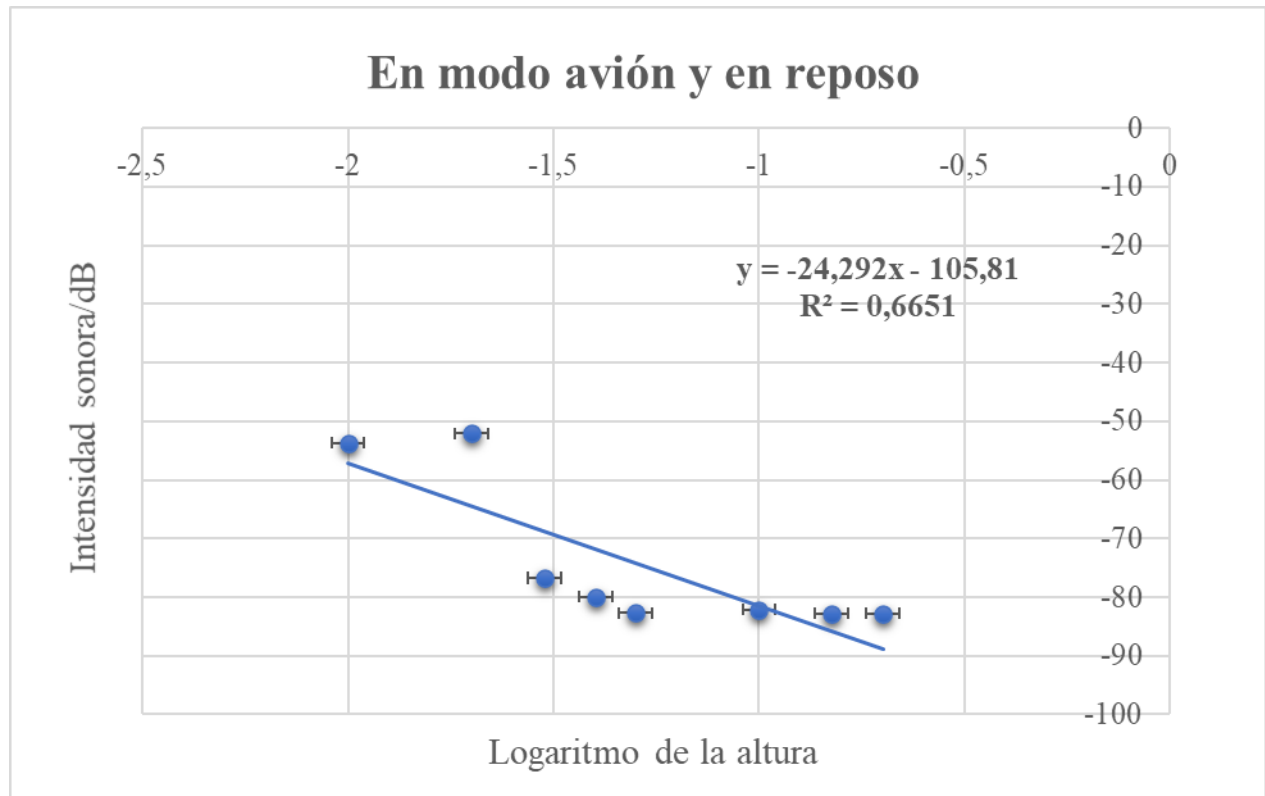


¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

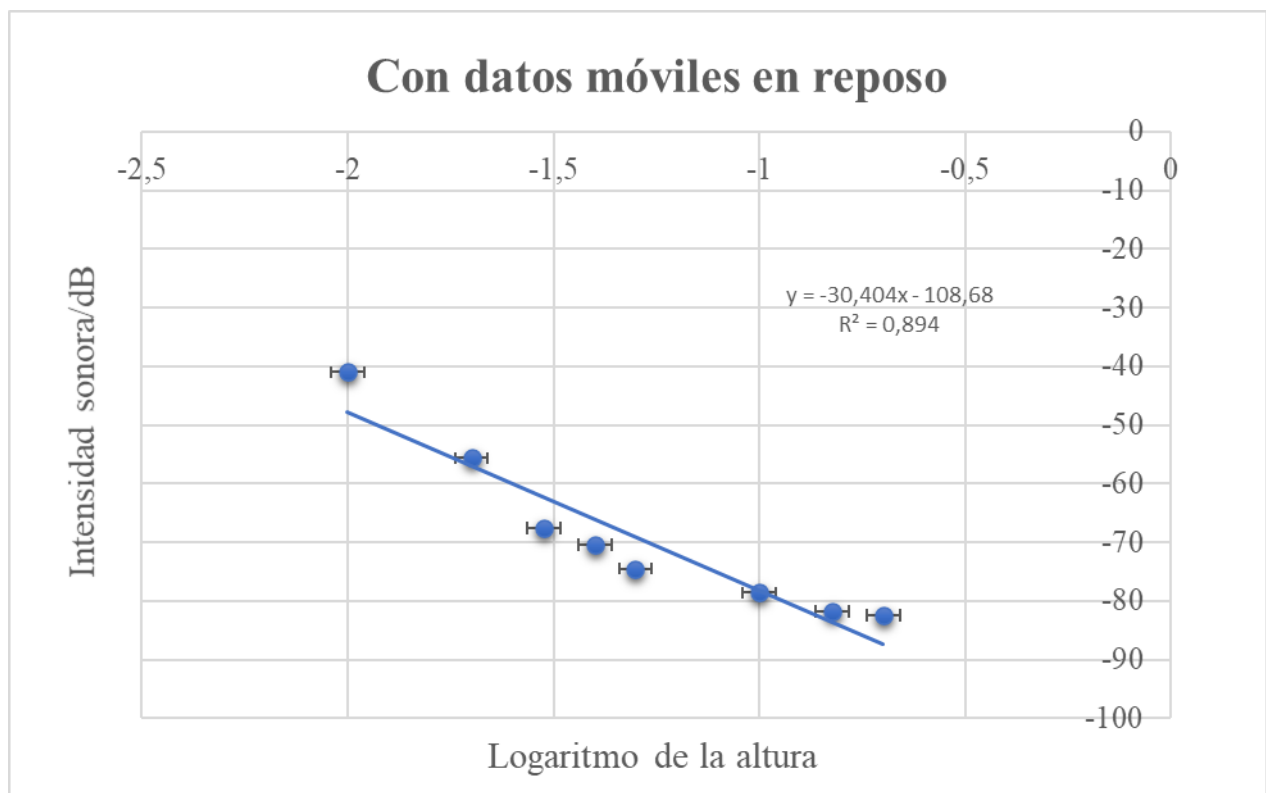
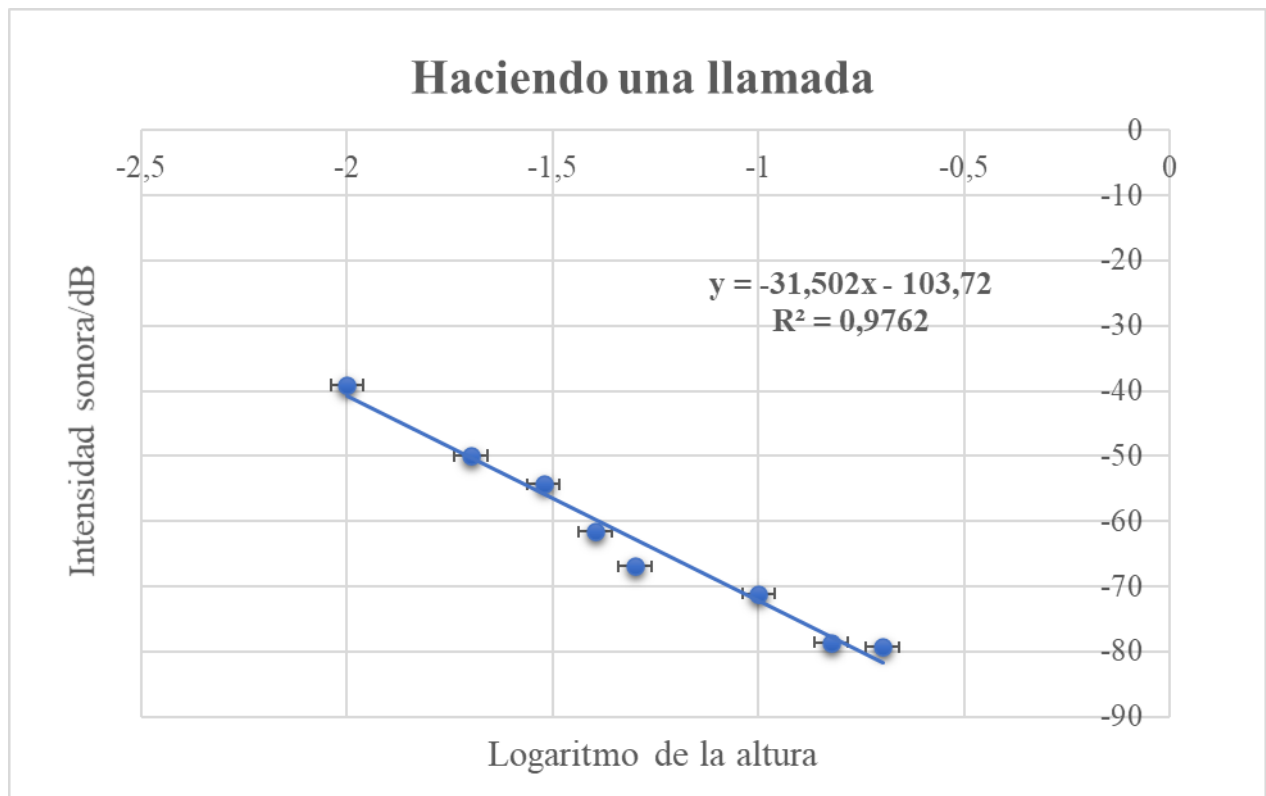
5.2 Gráficos linealizados de los diferentes estados



¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?



¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?



¿Existe relación entre la distancia a la que se sostiene un teléfono inteligente de las pastillas y la intensidad del sonido emitido por una guitarra eléctrica?

