

**Análisis psicoacústico y percepción subjetiva del
sonido de *freehubs* de bicicletas: Evaluación de
variables acústicas en contextos urbanos y
rurales**

Autor: EPULLAN, Calquin Facundo (DNI 40067187)

TUTOR ROLA, Mariano Ezequiel



Análisis psicoacústico y percepción subjetiva del sonido de *freehubs* de bicicletas: Evaluación de variables acústicas en contextos urbanos y rurales

EPULLAN, Calquin Facundo

1. Fundamentación e Introducción.

En la ingeniería de bicicletas, históricamente se ha centrado la atención en optimizar el rendimiento funcional de los componentes mecánicos, como la transmisión y los frenos. Sin embargo, la percepción subjetiva del ciclista, especialmente en lo que respecta a los sonidos que generan estos componentes, ha comenzado a ganar relevancia en los últimos años. La investigación ha demostrado que los aspectos sensoriales, como el sonido, pueden influir significativamente en la experiencia global del usuario. Mientras que estudios anteriores han abordado problemas acústicos específicos, como el chirrido y la vibración en los frenos de disco (Nakae et al., 2011; Redfield, 2014), aún permanece una notable brecha en la literatura respecto a la percepción del ruido generado por el *freehub* de la rueda trasera.

El *freehub* es un componente clave en la mecánica de la bicicleta, responsable de permitir que la rueda trasera gire libremente cuando el ciclista deja de pedalear. Este mecanismo produce un sonido característico que, aunque puede parecer insignificante, juega un papel importante en la percepción subjetiva del ciclista sobre la calidad de su bicicleta. A diferencia de otros componentes cuyo rendimiento puede medirse objetivamente, el ruido del *freehub* es intrínsecamente subjetivo, y su impacto puede variar considerablemente según el contexto en el que se utilice la bicicleta. Esta variabilidad sugiere que un análisis detallado de la percepción del ruido en diferentes entornos podría proporcionar conocimientos valiosos para el diseño y la comercialización de bicicletas.

La idea para esta investigación surge de la observación cotidiana del ruido producido por parte del *freehub* en diferentes escenarios. Este ruido, aunque a menudo ignorado, puede tener un impacto significativo en la experiencia del ciclista, influenciando su percepción del confort y la calidad del viaje. Al rodar en entornos urbanos concurridos, donde el ruido ambiental es elevado, el sonido del *freehub* podría pasar desapercibido o ser considerado insignificante. En contraste, en entornos rurales o áreas naturales, donde el silencio predomina, este mismo sonido podría ser percibido como intrusivo o incluso molesto. Por tanto, la pregunta central que guía esta investigación es: **¿Cómo varía la percepción subjetiva del ruido del *freehub* en función del entorno en el que se encuentra el ciclista?**

Este estudio no solo busca llenar un vacío en la literatura existente sobre el ruido de los componentes de la bicicleta, sino también ofrecer una nueva perspectiva al combinar evaluaciones subjetivas y objetivas del sonido. La utilización de una escala de Likert permitirá capturar de manera precisa las percepciones individuales de los ciclistas en diversos contextos, proporcionando un enfoque cuantitativo para medir la satisfacción y el confort sonoro. Además, se espera que los resultados de esta investigación no solo contribuyan al conocimiento académico en el campo de la ingeniería de sonido aplicada a bicicletas, sino que también ofrezcan información práctica para fabricantes y diseñadores que deseen optimizar la experiencia auditiva de sus productos.

Al situar a los participantes en escenarios específicos, como rodar en una ciudad bulliciosa o en un camino rural tranquilo, y al medir sus respuestas tanto objetivas como subjetivas, esta investigación pretende comprender de manera integral el impacto psicoacústico del *freehub*. Se explorará cómo diferentes diseños de *freehub*, con variaciones en sus características estructurales y operativas, influyen en el perfil acústico y, en última instancia, en la percepción de los ciclistas. Estos hallazgos podrían tener implicaciones significativas no solo para la

ingeniería de sonido en bicicletas, sino también para la percepción de calidad y la preferencia del usuario hacia ciertas marcas o modelos.

A lo largo de este documento, se expondrán los objetivos generales y específicos que guiarán la investigación, así como el marco teórico que se empleará para respaldarlos, brindándoles una base sólida y empírica. A continuación, se describirá el diseño de la investigación, que incluye la enumeración de todas las variables y su respectivo método de evaluación. Seguidamente, se especificará el procedimiento de validación de las pruebas y se llevará a cabo el correspondiente análisis de los resultados obtenidos. Al final, se elaborará una conclusión que permitirá, mediante un análisis exhaustivo, trazar y planificar las futuras líneas de investigación. Se cerrará el documento con la mención de todas aquellas referencias que son empleadas en el presente estudio.

2. Objetivos General y específicos.

2.1.Objetivo General.

Analizar cómo varía la percepción subjetiva del ruido generado por el *freehub* de la rueda trasera en función del entorno en el que se encuentra el ciclista, evaluando tanto las respuestas objetivas como subjetivas con el fin de identificar los factores que influyen en la experiencia auditiva y ofrecer recomendaciones para el diseño y comercialización de bicicletas.

2.2.Objetivos Específicos.

- Evaluar el perfil acústico de diferentes modelos de *freehub* en para identificar variaciones en el sonido producido.
- Realizar encuestas a ciclistas utilizando una escala de Likert para medir la percepción subjetiva del ruido del *freehub* en diferentes escenarios, como áreas urbanas y rurales.
- Correlacionar los datos obtenidos de las evaluaciones subjetivas con los parámetros psicoacústicos medidos, para identificar patrones y tendencias en la percepción del sonido.
- Determinar cómo los distintos parámetros del sonido del *freehub* afectan la percepción subjetiva en función del entorno en el que se utilice la bicicleta.
- Investigar el impacto del ruido del *freehub* en la percepción de calidad de la bicicleta por parte de los usuarios, considerando diferentes contextos de uso y preferencias personales.
- ~~Elaborar un informe final que resuma los hallazgos y proponga futuras líneas de investigación para seguir explorando el impacto psicoacústico de los componentes de la bicicleta.~~

3. Marco Teórico y Estado del Arte.

Este apartado se estructura en cuatro secciones principales: estudios sobre vibraciones y confort de los ciclistas, investigaciones sobre ruido en componentes de bicicletas, evaluaciones subjetivas del sonido en otros contextos, y definiciones y conceptos relevantes para el análisis acústico.

3.1. Estudios sobre vibraciones y confort de los ciclistas.

Olieman et al. (2012) demostraron que la superficie de la carretera, la velocidad y la presión de los neumáticos tienen una influencia significativa en las vibraciones inducidas en el cuadro y la horquilla, mientras que el conjunto de ruedas no muestra una influencia considerable. Por

su parte, Lépine et al. (2013) investigaron las condiciones de prueba y descubrieron que todas las condiciones seleccionadas afectaban significativamente el nivel de vibración experimentado por el ciclista, subrayando la importancia de controlar estas variables para obtener mediciones repetibles y precisas del confort del ciclista.

3.2. Investigaciones sobre ruido en componentes de bicicletas.

Las investigaciones de Nakae et al. (2011) y Redfield (2014) revelan que las vibraciones y ruidos en los frenos de disco de bicicletas son producto de fenómenos de vibración autogenerada por fricción y el comportamiento stick-slip, mientras que Caçador (2016) demostró que el ruido en la transmisión de bicicletas, aunque no alcance niveles fisiológicamente dañinos, puede afectar psicológicamente al ciclista, siendo crítico para el diseño de componentes. Estas investigaciones ofrecieron una comprensión profunda de los factores que contribuyen a los ruidos en las bicicletas, destacando la influencia de la superficie de contacto, el diseño de componentes y las dinámicas estructurales. Sin embargo, no exploraron la evaluación subjetiva de los sonidos emitidos por el núcleo del buje trasero, dejando una brecha en la investigación.

3.3. Evaluaciones subjetivas del sonido en otros contextos.

En diversos contextos, la percepción subjetiva del sonido ha sido crucial para evaluar la calidad acústica de productos. Genuit (1996) destacó que la calidad sonora se percibe positivamente si el sonido no es perturbador y genera asociaciones agradables con el producto, y criticó la insuficiencia de las técnicas de medición física y psicoacústica convencionales.

Echarte (2010) investigó la importancia de la sonoridad y otros parámetros psicoacústicos en la percepción de la calidad sonora, revelando la relevancia de estos factores en la evaluación de productos. Toril (2012) implementó análisis sensoriales y pruebas subjetivas con electrodomésticos, concluyendo que estas evaluaciones son esenciales para garantizar la satisfacción del consumidor.

Estos dos últimos estudios demostraron que, a pesar de las limitaciones, las técnicas de psicoacústica son útiles por su simplicidad y aplicabilidad general. La combinación de evaluaciones objetivas y subjetivas permite una comprensión más completa de la experiencia auditiva del usuario.

3.4. Definiciones y conceptos.

3.4.1. Análisis en Espectro de Frecuencias.

El análisis en espectro de frecuencias es una técnica que descompone una señal sonora en sus componentes de frecuencia individuales. Esto se realiza mediante transformadas de Fourier, permitiendo identificar las frecuencias dominantes y su amplitud. La Transformada de Fourier Discreta (DFT) se define matemáticamente como se muestra en la Ecuación (1) (Oppenheim & Schafer, 2009; Lyons, 2010).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi kn/N} \quad (1)$$

donde $X(k)$ representa la amplitud de la señal en la frecuencia k , $x(n)$ es la señal en el dominio del tiempo, N es el número total de muestras, y j es la unidad imaginaria.

3.4.2. Parámetros Psicoacústicos.

3.4.2.1. Rugosidad.

La rugosidad (R) es una medida de la percepción de fluctuaciones rápidas en la amplitud de un sonido. Se la calcula como la variación temporal de la sonoridad en bandas críticas, y se puede estimar mediante modelos psicoacústicos basados en la modulación de amplitud. Matemáticamente, puede expresarse como se muestra en la ecuación (2) (Daniel & Weber, 1997).

$$R = \sum_{i=1}^B R_i \quad (2)$$

donde R_i es la rugosidad en la i -ésima banda crítica, y B es el número total de bandas críticas consideradas (Zwicker, 1961).

3.4.2.2. Sonoridad.

De acuerdo a la International Organization for Standardization (2017) la sonoridad refiere a una medida de cómo de fuerte o intenso se percibe un sonido. No es simplemente una función de la presión sonora, sino que también depende de la frecuencia, la forma de onda, el ancho de banda y la duración del sonido. La sonoridad se expresa en sones.

Zwicker (1960) presentó un procedimiento para el cálculo de la sonoridad que fue adoptado por la ISO 352. Posteriormente Zwicker et al. (1991) publican un código desarrollado en lenguaje *BASIC* para su cálculo empleando computadoras.

3.4.2.3. Centroide espectral.

El centroide espectral es una medida que indica el “centro de gravedad” del espectro de frecuencias de un sonido, y se asocia con la percepción de la "brillantez" de un sonido. Matemáticamente, se calcula según se muestra en la Ecuación (3) (Peeters et al., 2011; Giannakopoulos & Pikrakis, 2014).

$$C_s = \frac{\sum_{k=1}^N f(k) \cdot X(k)}{\sum_{k=1}^N X(k)} \quad (3)$$

donde $f(k)$ es la frecuencia correspondiente a la k -ésima componente, $X(k)$ es la magnitud espectral en esa frecuencia, y N es el número total de componentes en el espectro.

3.4.2.4. Nitidez.

La nitidez es una medida derivada de la sonoridad y se traduce como la percepción de la tonalidad alta o "afilada" de un sonido (Deutsches Institut für Normung, 2009). Su cálculo se basa en el método de sonoridad de Zwicker teniendo en cuenta su distribución a través de las bandas de frecuencia, con mayor peso a las frecuencias altas. Matemáticamente, queda expresado según la Ecuación (4) (Fastl & Zwicker, 2007).

$$S = 0,11 \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' g(z) z dz}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz} \quad (4)$$

donde S es la nitidez que hay que calcular, $g(z)$ es un factor de ponderación que depende de las bandas críticas de Barks y el denominador, la sonoridad total N .

4. Diseño de la Investigación.



El presente estudio tiene como objetivo investigar la percepción subjetiva del sonido emitido por distintos *freehub* en bicicletas, utilizando un enfoque metodológico que combina tanto pruebas objetivas como subjetivas. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis psicoacústico de las grabaciones de sonido de diferentes modelos de *freehub*, considerando variables objetivas clave como la sonoridad, nitidez, rugosidad y centroide espectral. Posteriormente, se diseñará una prueba subjetiva, en la que se evaluará la percepción de estas características acústicas por parte de los participantes mediante una encuesta en línea. Este diseño permitirá no solo cuantificar las características acústicas del sonido, sino también comprender cómo estas son percibidas en diferentes contextos por usuarios de bicicletas con variados niveles de experiencia. A continuación, se detallarán los procedimientos y criterios específicos empleados en cada fase del estudio.

4.1. Diseño prueba objetiva: Definición de Variables. Muestra.

El sonido emitido por un *freehub* puede estar influenciado por diversas variables, tales como la cantidad de grasa que lubrica el componente, el tipo de *freehub* (ratchet o de trinquetes), la cantidad de dientes del ratchet, la cantidad de trinquetes, el material del *freehub*, del buje, del eje, o la velocidad de giro de la rueda al dejar de pedalear. Sin embargo, este estudio se centrará en las variables objetivas de sonoridad, nitidez, rugosidad y centroide espectral. Estas variables han sido seleccionadas debido a su relevancia en la caracterización psicoacústica del sonido y su impacto en la percepción subjetiva del mismo (Echarte Merino, 2010; Toril Muro, 2012).

Las muestras se compondrán de grabaciones de 4 segundos de duración de distintos *freehubs* de diversas marcas y modelos. Se seleccionarán 5 *freehubs* representativos, asegurando una variedad en cuanto a diseño, material y características acústicas. Las grabaciones se realizarán en un entorno controlado, buscando minimizar el ruido de fondo y asegurar la consistencia en las condiciones de grabación. La condición de la velocidad de giro de la rueda será propinándole un impulso inicial para que la rueda gire libremente. Esto busca simular el régimen normal de uso cuando un ciclista deja de pedalear, ya sea en una bajada o a una velocidad moderada, preparándose para frenar.

Para el cálculo de los parámetros de sonoridad, nitidez y rugosidad se empleará la biblioteca MoSQITo (Green Forge Coop, 2024), mientras que para el cálculo del centroide espectral se utilizará la biblioteca Librosa (McFee y otros, 2015). Ambas bibliotecas fueron desarrolladas para Python.

4.2. Diseño prueba subjetiva: Encuesta y Muestra.

En esta sección, se describirá el diseño de la prueba subjetiva que evaluará la percepción del sonido emitido por diferentes modelos de *freehub*. Esta evaluación se llevará a cabo mediante una encuesta online utilizando una escala de Likert, diseñada para capturar la percepción subjetiva de las características acústicas de los *freehubs*. Esto permitirá a los participantes completar el test en un entorno controlado y a su propio ritmo.



4.2.1. Selección de la Muestra

Se optará por una muestra **no probabilística**. Esta elección se debe a que se está evaluando una característica de un objeto común, la bicicleta, que es utilizada por un amplio espectro de la población. La mayoría de la población tiene algún grado de experiencia con bicicletas, ya sea como medio de transporte, recreación o deporte. Dado que el uso de la bicicleta es generalizado y comienza desde la infancia, se espera que la mayoría de los participantes tengan algún nivel de familiaridad con ella. Esto permite que la muestra sea representativa en términos de experiencia con bicicletas. Además, la modalidad de ciclismo (ruta, MTB, recreativo, movilidad, no uso) que prefieren los participantes será una variable de interés, ya que puede influir en su percepción del sonido del *freehub*. De la misma manera que, al momento de realizar el test, las personas empleen la bicicleta de manera recreativa o competitiva podría afectar la preferencia de un sonido sobre otro. Estas variables se utilizarán para filtrar y analizar los datos obtenidos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones hace una recomendación sobre evaluaciones subjetivas de sonido. Si bien refiere a calidad de sonido en emisiones de radiofrecuencia, brinda una pauta sobre los participantes y la cantidad, la cual es adoptada para la presente investigación. Se recomienda que el mínimo número de oyentes expertos sea de diez, mientras que el de aquellos no expertos debe ser de veinte (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019). De este modo, los participantes serán seleccionados aleatoriamente hasta completar un tamaño mínimo de muestra de treinta participantes. A efectos de este estudio, se considerarán oyentes expertos a aquellos participantes que se desempeñen de manera competitiva, cualquiera sea su modalidad.

4.2.2. Diseño de la Encuesta

La encuesta se realizará en línea, utilizando Google Forms, para facilitar el acceso y la participación. A los participantes se les pedirá que utilicen auriculares que aíslen el ruido exterior y que completen el test en un lugar tranquilo, con bajo ruido de fondo. Para asegurar que las comparaciones de sonoridad sean válidas, se proporcionará una señal de referencia que permitirá a los participantes ajustar el volumen a su criterio al inicio del test. Se les pedirá que mantengan este nivel de volumen constante durante toda la evaluación.

4.2.3. Contextualización del Entorno de Evaluación

Para situar a los participantes en diferentes contextos acústicos, se presentarán fragmentos de videos que muestren ambientes urbanos bulliciosos y zonas rurales tranquilas. Estos videos permitirán que los encuestados se ubiquen mentalmente en un entorno particular mientras realizan la evaluación, lo cual es esencial para que su percepción del sonido del *freehub* sea lo más realista y contextualizada posible.

4.2.4. Cuestionario

El cuestionario incluirá una serie de preguntas diseñadas para filtrar y categorizar a los participantes. Entre las preguntas clave estarán:

- ¿Con qué frecuencia utiliza la bicicleta? (Nunca, Ocasionalmente, Regularmente, Diariamente)
- ¿Qué modalidad de ciclismo le gusta hacer? (Ruta, MTB, Recreativo, Como movilidad, No usa la bicicleta)
- ¿Suele participar en competencias de ciclismo? No necesariamente de manera profesional (Si, No)

- ¿En qué entorno utiliza más la bicicleta? (Urbano, Rural, Mixto)
- ¿Qué tan familiarizado está con los diferentes sonidos que emiten los componentes de una bicicleta? (Escala de 1 a 5)
- ¿Qué tan importante considera el sonido del piñón en su experiencia de ciclismo? (Nada importante, Poco importante, Moderadamente importante, Muy importante)

4.2.5. Desarrollo de la Escala de Likert

La evaluación del sonido se realizará mediante una escala de Likert de 5 puntos, que permitirá a los participantes calificar diversas cualidades acústicas del *freehub*, tales como:

- Agrado del sonido (Muy desagradable - Muy agradable)
- Confort acústico (Muy incómodo - Muy cómodo)
- Molestia del sonido (Nada molesto – Muy molesto)

Cada uno de los núcleos de *freehub* será evaluado por separado, y se presentará a los encuestados en series de pruebas que incluirán la reproducción de las grabaciones de audio en combinación con los videos de contextualización.

4.2.6. Duración y Recorrido de la Encuesta

El test completo está diseñado para durar, como máximo, 15 minutos. Los encuestados seguirán un recorrido estructurado, comenzando con la calibración del volumen mediante la señal de referencia, seguido de la presentación de los videos de contextualización, y luego, la evaluación del sonido de los *freehubs* mediante la escala de Likert. El test finalizará con la respuesta de los encuestados al cuestionario.

5. Validación de las pruebas.

La validación de las pruebas se realizará utilizando métodos estadísticos que permitirán identificar y excluir respuestas que puedan contener errores o que no cumplan con los criterios de validez establecidos para este estudio. Dado que las pruebas objetivas y subjetivas aún no se han llevado a cabo, en esta sección se describirán los métodos estadísticos elegidos para la validación y su justificación.

5.1. Análisis de Normalidad.

Para evaluar si los datos obtenidos en las pruebas subjetivas siguen una distribución normal, se aplicará la prueba de Shapiro-Wilks. Este test es particularmente adecuado para muestras pequeñas o moderadas y proporciona una medida de la normalidad de los datos. En el caso de obtener una muestra más grande, se considerará la utilización de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ajustada para este tipo de distribución. Estas pruebas permitirán verificar si la distribución de las respuestas sigue un patrón esperado, lo que es crucial para la validez de los análisis posteriores.

5.2. Análisis de Homogeneidad de Varianzas.

Para asegurar que las comparaciones entre los distintos grupos de datos (por ejemplo, entre diferentes modalidades de ciclismo o entornos de uso) sean válidas, se utilizará el test de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas. Este test determinará si las varianzas de los datos

son iguales en todos los grupos, lo que es un requisito para aplicar ciertos métodos estadísticos comparativos de manera fiable.

5.3.Exclusión de Datos Anómalos.

En caso de que los datos no cumplan con los supuestos de normalidad o de homogeneidad de varianzas, se revisarán individualmente las respuestas que más se desvíen de la media para evaluar su inclusión en el análisis final. Las respuestas que se identifiquen como errores o valores atípicos extremos serán excluidas para evitar que afecten los resultados generales de la investigación. Además, se considerará la aplicación de transformaciones de datos si se detectan violaciones significativas de los supuestos estadísticos, aunque la preferencia será mantener los datos en su forma original.

6. Análisis de los resultados: Aplicaciones estadísticas.

El análisis de los resultados se llevará a cabo mediante la aplicación de diversas técnicas estadísticas que permitirán extraer conclusiones significativas a partir de los datos obtenidos en las pruebas objetivas y subjetivas. Se realizarán análisis de correlación y regresión para explorar las relaciones entre las variables acústicas y la percepción subjetiva del sonido. Estos análisis proporcionarán una visión clara de cómo los distintos parámetros afectan la percepción del sonido del *freehub*.

Además, se llevará a cabo un análisis de medias para determinar las diferencias significativas entre los distintos modelos de *freehub*. Las pruebas post-hoc se utilizarán para identificar y detallar estas diferencias, permitiendo una comprensión más precisa de las variaciones en la percepción del sonido entre los diferentes *freehubs* evaluados.

Por último, se integrarán los resultados obtenidos en un análisis general que permitirá comparar y contrastar las percepciones subjetivas en función de las características acústicas de cada *freehub*. Este análisis proporcionará conclusiones sobre la relación entre las propiedades objetivas del sonido y las evaluaciones subjetivas realizadas por los participantes.

7. Conclusiones.

En el presente Plan de Investigación, se ha delineado un enfoque integral para evaluar la percepción subjetiva y las características psicoacústicas del sonido emitido por distintos modelos de *freehub*. A través de la combinación de pruebas objetivas y subjetivas, se espera obtener una comprensión profunda de cómo diversos parámetros del sonido, como la sonoridad, la nitidez, la rugosidad y el centroide espectral, influyen en la percepción y preferencias de los ciclistas.

Los resultados de las pruebas objetivas proporcionarán un perfil acústico detallado de cada modelo de *freehub*, mientras que las encuestas subjetivas revelarán las preferencias y percepciones de los usuarios en diferentes contextos. Se espera que la comparación entre estos dos conjuntos de datos permita identificar correlaciones significativas y ofrecer una explicación coherente de cómo los aspectos técnicos del sonido influyen en la experiencia del ciclista.

La exposición de los resultados se llevará a cabo de manera que se destaquen tanto los hallazgos clave en términos de diferencias acústicas entre los modelos de *freehub*, como las implicancias prácticas de estos hallazgos para la industria del ciclismo y para los usuarios finales. En última instancia, se busca que esta investigación contribuya al diseño y selección de componentes de bicicletas que ofrezcan una experiencia auditiva más agradable y satisfactoria para los ciclistas.

8. Líneas futuras de investigación.

Este estudio abre la puerta a varias áreas de investigación adicionales. Futuros trabajos podrían explorar cómo otros parámetros mecánicos y de diseño, como la geometría del *freehub* o el material del componente, afectan la percepción acústica. Además, sería valioso investigar la influencia del entorno específico de uso en la percepción del sonido, así como el impacto del ruido del *freehub* en el rendimiento y la seguridad del ciclista.

Asimismo, los resultados obtenidos podrían inspirar el desarrollo de nuevos diseños de *freehubs* que optimicen tanto las características acústicas como el rendimiento mecánico. Extender el enfoque metodológico utilizado en este estudio a otros componentes de la bicicleta, como los frenos o las ruedas, también podría ofrecer una comprensión más completa del papel del sonido en la experiencia del ciclismo.

9. Cronograma.

En el siguiente diagrama de Gantt se muestra un cronograma tentativo de actividades y tareas previstas para la realización de la investigación, con una duración total de 16 semanas.

Actividad / Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Desarrollo plan de tesis	X	X	X													
Recopilación de muestras				X	X											
Reclutamiento de participantes					X	X	X	X	X							
Recopilación de datos						X	X	X	X							
Procesamiento de datos								X	X	X						
Análisis											X	X	X	X		
Redacción de la Tesis				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Presentación															X	X

10. Referencias.

- Caçador, F. M. (July of 2016). Bicycle drivetrain noise and vibration test development. Portugal: Universidade de Coimbra. <https://hdl.handle.net/10316/36994>
- Daniel, P., & Weber, R. (1997). Psychoacoustical Roughness: Implementation of an Optimized Model. *ACUSTICA · acta acustica*, 83, 113-123.
- Deutsches Institut für Normung. (2009). Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe (Measurement technique for the simulation of the auditory sensation of sharpness) (DIN 45692:2009). <https://doi.org/10.31030/1521326>
- Echarte Merino, Á. (Marzo de 2010). Evaluación de la calidad sonora mediante parámetros psicoacústicos. España: Universidad Pública de Navarra. <https://hdl.handle.net/2454/1813>
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics: Facts and Models*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4>
- Genuit, K. (1996). Objective evaluation of acoustic quality based on a relative approach. *INTER-NOISE 1996*, 18(6). <https://doi.org/10.25144/19560>

- Giannakopoulos, T., & Pikrakis, A. (2014). *Introduction to Audio Analysis: A MATLAB Approach*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-03524-7>
- Green Forge Coop. (February of 2024). MOSQITO (Version 1.1.1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10629475>
- International Organization for Standardization. (2017). Acoustics — Methods for calculating loudness Part 1: Zwicker method (ISO 532-1:2017).
- Lépine, J., Champoux, Y., & Drouet, J.-M. (June of 2013). Road bike comfort: on the measurement of vibrations induced to cyclist. *Sports Engineering*, 17, 113-122. <https://doi.org/10.1007/s12283-013-0145-8>
- Lyons, R. G. (2010). *Understanding Digital Signal Processing*. Prentice Hall.
- McFee, B., Colin, R., Liang, D., PW Ellis, D., McVicar, M., Battenberg, E., & Nieto, O. (2015). librosa: Audio and music signal analysis in python. *Proceedings of the 14th python in science conference*, 18-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11192913>
- Nakae, T., Ryu, T., Sueoka, A., Nakano, Y., & Inoue, T. (2011). Squeal and chatter phenomena generated in a mountain bike disc brake. *Journal of Sound and Vibration*, 330(10), 2138-2149. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.08.027>
- Olieman, M., Marin-Perianu, R., & Marin-Perianu, M. (2012). Measurement of dynamic comfort in cycling using wireless acceleration sensors. *Procedia Engineering*, 34, 568-573. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.097>
- Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2009). *Discrete-Time Signal Processing (3rd ed.)*. Pearson.
- Peeters, G., Giordano, B. L., Susini, P., Misdariis, N., & McAdams, S. (2011). The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(5), 2902-2916. <https://doi.org/10.1121/1.3642604>
- Redfield, R. (December de 2014). Bike Braking Vibration Modelling and Measurement. *Procedia Engineering*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.051>
- Toril Muro, Ó. (Febrero de 2012). Evaluación de la calidad sonora de electrodomésticos mediante parámetros psicoacústicos. España: Universidad Pública de Navarra. <https://hdl.handle.net/2454/4583>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (Enero de 2019). Recomendación UIT-R BS.1284-2. *Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido*. Recuperado el 22 de Agosto de 2024, desde: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1284-2-201901-I!!PDF-S.pdf
- Zwicker, E. (1960). Ein Verfahren zur Berechnung der Lautstärke (A procedure for calculating loudness). *Acustica*, 10, 304-308.
- Zwicker, E. (February of 1961). Subdivision of the Audible Frequency Range into Critical Bands (Frequenzgruppen). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(2), 248. <https://doi.org/10.1121/1.1908630>
- Zwicker, E., Fastl, H., Widmann, U., Kurakata, K., Kuwano, S., & Namba, S. (1991). Program for calculating loudness according to DIN 45631 (ISO 532B). *Journal of the Acoustical Society of Japan*, 12(1), 39-42. <https://doi.org/10.1250/ast.12.39>