

SISTEMA DE ANÁLISIS DE SONIDO PARA EL PASO DE EQUINOS.

MODALIDAD EXPLORATORIO

JUAN ESTEBAN BAENA DUQUE

LAURA MARÍA MORENO DURANGO

Trabajo de grado para optar al título de

INGENIERO MECATRÓNICO

MSc. Andrés Felipe Valle Pérez



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
ENVIGADO
2019**

AGRADECIMIENTOS

Al director de este trabajo de grado Andrés Felipe Valle, por su dedicación durante toda la elaboración.

Robinson Torres por el acompañamiento prestado durante el desarrollo del código para la adquisición y procesamiento de la señal.

Para el criadero Santorini por permitir realizar las pruebas del dispositivo con sus ejemplares y además por su disponibilidad y sencillez para compartir su conocimiento sobre el tema.

CONTENIDO

	pág.
<i>Introducción</i>	9
<i>Preliminares</i>	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Objetivos del proyecto	11
1.1.1 Objetivo general.....	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 Marco de referencia	12
1.2.1 Antecedentes	12
1.2.2 Marco Teórico	13
2. METODOLOGÍA	22
2.1 Planeación	22
2.2 Desarrollo del concepto	22
2.3 Diseño del detalle	22
2.4 Pruebas y refinamiento	22
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	23
3.1 Lista de necesidades	23
3.2 Identificación de requerimientos	25
3.2.1 Especificaciones objetivo	27
3.3 Diseño y selección de concepto	28
3.3.1 Registro de soluciones	29
3.3.2 Matriz Morfológica.....	34
3.3.3 Selección de concepto.....	36
3.4 Diseño de detalle	37
3.4.1 Programación de la tarjeta NI DAQMX	38
3.4.2 Programación etapa IoT	41
3.5 Diseño mecánico:	44
3.6 Pruebas y refinamiento	45
4. ANALISIS DE RESULTADOS	48
5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	49
6. REFERENCIAS	50
7. ANEXOS	52

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ejemplo de frecuencia de sonido	13
Figura 2. Ejemplo del concepto de amplitud	14
Figura 3. Ejemplo del concepto de armónico	14
Figura 4. Ejemplo del concepto de frecuencia de muestreo	15
Figura 5. Diagrama de bloques del dispositivo de reconocimiento de voz	15
Figura 6. Ejemplo del concepto de seguidor envolvente	16
Figura 7. Método de ZCD.....	17
Figura 8. Método de la transformada rápida de Fourier FFT	17
Figura 9. Proceso de adquisición de datos DAQ	19
Figura 10. Esquema del entorno de prueba	23
Figura 11. Análisis de frecuencia 50% en Audacity.....	24
Figura 12. Análisis de frecuencia 50% en Audacity.....	24
Figura 13. Análisis de frecuencia 25% en Audacity.....	24
Figura 14. Análisis de frecuencia 25% en Audacity.....	25
Figura 15. Conversión de sonido	27
Figura 16. Caja negra.....	28
Figura 17. Caja transparente	28
Figura 18. Integración del sistema de adquisición.....	37
Figura 19. Circuito del micrófono	38
Figura 20. Programación etapa 1	39
Figura 21. Programación etapa 2	40
Figura 22. Programación etapa 3.....	40
Figura 23. Interfaz gráfica	41
Figura 24. Circuito Wi-Fi	42
Figura 25. Conexión plataforma Ubidots	42
Figura 26. Visualización plataforma Ubidots	43
Figura 27. Configuración y declaración de variables	43
Figura 28. Conversión de la señal analógica	44
Figura 29. Diseño mecánico	44
Figura 30. Resultados en pista 1	45
Figura 31. Resultados en Ubidots 1	45
Figura 32. Resultados 2 en pista 1	47
Figura 33. Resultados 2 en Ubidots 1	47

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Antecedentes	12
Tabla 2. Registro de soluciones - Convertir señal	29
Tabla 3. Registro de soluciones - Procesar	30
Tabla 4. Registro de soluciones - Enviar señal	32
Tabla 5. Registro de soluciones - Visualizar resultados	33
Tabla 6. Matriz morfológica	34
Tabla 7. Matriz de decisión	36
Tabla 8. Resumen de resultados	46
Tabla 9. Resumen de resultados 2	47

TABLA DE ANEXOS

	pág
Figura 1. Resultados en pista 2	52
Figura 2. Resultados en Ubidots 2	52
Figura 3. Resultados en pista 3	53
Figura 4. Resultados en Ubidots 3	53
Figura 5. Resultados en pista 4	54
Figura 6. Resultados en Ubidots 4	54
Figura 7. Resultados 2 en pista 2	55
Figura 8. Resultados 2 en Ubidots 2	55
Figura 9. Resultados 2 en pista 3	56
Figura 10. Resultados 2 en Ubidots 3	56
Figura 11. Resultados 2 en pista 4	57
Figura 12. Resultados 2 en Ubidots 4	57
Figura 13. Resultados 2 en pista 5	58
Figura 14. Resultados 2 en Ubidots 5	58
Figura 15. Resultados 2 en pista 6	59
Figura 16. Resultados 2 en Ubidots 6	59
Figura 17. Resultados 2 en pista 7	60
Figura 18. Resultados 2 en Ubidots 7	60
Figura 19. Resultados 2 en pista 8	61
Figura 20. Resultados 2 en Ubidots 8	61

RESUMEN

Este trabajo consta del desarrollo e implementación de un sistema de análisis de sonido para el paso de equinos, dispositivo con el cual se espera agilizar y disminuir el error en el momento de realizar la calificación y juzgamiento de un ejemplar en competencia. En primer lugar, se realizó la formulación del problema en la cual se evidenció la importancia del gremio equino en Colombia y específicamente en Antioquia, también los múltiples factores de error en el juzgamiento y el sobre entrenamiento de los ejemplares antes de participar; consecuentemente se planteó la justificación del proyecto y los objetivos a cumplir.

Para el desarrollo del proyecto se adoptó la metodología de Ulrich, la cual es útil para la definición de actividades, cronograma y presupuesto, aunque no se utilizaran todas las categorías de esta metodología debido a que en este proyecto no se realizara un producto comercial.

Al momento de realizar los antecedentes, se observa que no se evidencian investigaciones similares con respecto a la parte de reconocimiento de señales de sonido en animales, lo cual ayuda a determinar conceptos que serían necesarios para el entendimiento y desarrollo de los diferentes dispositivos, estos se evidencian en el marco teórico, tales como: Características de los ejemplares, reglamento colombiano en competencias equinas, diagramas de bloques y protocolos de comunicación entre dispositivos de adquisición y envío de señales.

Finalmente, en este proyecto se obtuvo un sistema de análisis de sonido para el paso de equinos.

Palabras clave: Andar, equino, sonido, señal digital, espectro, transformada de Fourier, frecuencia, ancho de banda.

ABSTRACT

This work consists of the development and implementation of a sound analysis system for the passage of equines, device with which it is expected to streamline and reduce the error at the time of making the qualification and judging of a competing specimen. In the first place, the formulation of the problem was made in which the importance of the equine guild was evidenced in Colombia and specifically in Antioquia, also the multiple factors of error in the judgment and the over training of the specimens before participating; consequently the justification of the project was raised and the objectives to fulfill.

For the development of the project Ulrich's methodology was adopted, which is useful for the definition of activities, chronogram and budget, although not all the categories of this methodology were used due to the fact that in this project a commercial product was not made.

At the moment of making the antecedents, it is observed that similar investigations are not evidenced with respect to the part of recognition of sound signals in animals, which helps to determine concepts that would be necessary for the understanding and development of the different devices, these are evidenced in the theoretical frame, such as: Characteristics of the specimens, Colombian regulation in equine competitions, diagrams of blocks and protocols of communication between devices of acquisition and sending of signals.

Finally, in this project it is expected to obtain a sound analysis system for the passage of equines.

KEYWORDS: WALK, EQUINE, SOUND, DIGITAL SIGNAL, SPECTRUM, FOURIER TRANSFORM, FREQUENCY, BANDWIDTH

INTRODUCCIÓN

En el país la actividad equina equivale al 5% del producto interno bruto (MinAgricultura,2014),, el mercado interno del sector equino, asnal y mular en Colombia se lleva a cabo en diferentes escenarios como lo son las ferias y exposiciones: en este escenario se realiza el intercambio comercial de animales en pie o la negociación de material genético ya sea por monta directa o inseminación artificial, federaciones y asociaciones prestan el servicio comercial de venta de ejemplares a través de sus páginas web, Facebook y/o sus revistas o subastas virtuales.

Este es un mercado en crecimiento (MinAgricultura,2014), dicha actividad es de alta importancia en el departamento de Antioquia principalmente en el escenario de ferias y exposiciones debido a la gran cantidad de reproductores con los que el departamento cuenta y a las características que sus ejemplares poseen.

En general los criaderos de caballos se consolidan en el mercado nacional e internacional de acuerdo con la calidad que demuestren sus ejemplares en competencias estos son calificados jerárquicamente donde obtienen tanto un título como un reconocimiento visualmente de la siguiente manera: (Confepaso, 2014).

Título distintivo: 1. Campeón(a): Cinta Tricolor

2. Primer Lugar: Cinta Azul

3. Segundo Lugar: Cinta Roja

4. Tercer Lugar: Cinta Amarilla

5. Cuarto Lugar: Cinta Rosa

6. Quinto Lugar: Cinta Blanca

Cada concursante es entrenado durante un periodo arduo de tiempo (aproximadamente 6 meses), este entrenamiento es de manera tradicional, es decir, se basa en la experiencia y en los sentidos de los entrenadores; de esta misma manera son juzgados en las exposiciones, debido a esto, se observa que la calificación y entrenamiento de los equinos está estrictamente ligado con el error humano por lo anterior se evidencia la importancia de desarrollar un sistema que ayude a disminuir el error en ferias, exposiciones, entrenamientos y compras.

Además, con este proyecto se genera la opción para que los criadores, jueces, compradores y aficionados tengan la información del proceso sin posibilidad de alteración de resultados en tiempo mínimo.

PRELIMINARES

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El caballo es uno de los animales más representativos en Colombia, también fue uno de los actores más importantes en la economía nacional en los años anteriores (Camacho, 2012); el valor agregado de los equinos colombianos radica en que son los únicos caballos que se pueden desplazar por cuatro andares de competencia, Los ejemplares nacionales se destacan en trocha, trote, galope y paso fino, según la presidenta de *Fedequinas* son caballos con pasos nobles, bríos y suaves que los distinguen de los caballos del resto del mundo.

En el gremio equino colombiano existen registrados aproximadamente 143 criaderos de los cuales 20 están ubicados en Antioquia (Cubillos, 2018) departamento en el cual sus ejemplares se destacan por su entrenamiento y esto se hace notorio en los campeonatos regionales, nacionales e internacionales.

Estos ejemplares son juzgados en los campeonatos en varias categorías como: el fenotipo, la genética y el andar, en este último se califica la coordinación de las patas, la fuerza de la pisada y el sonido que estas producen, todas estas características son evaluadas por humanos los cuales están sujetos a cometer errores al momento de dar la puntuación al competidor, lo que lleva a pensar de qué manera se puede disminuir los factores de error en el juzgamiento del campeonato y también mejorar el desempeño de los mismos desde su forma de entrenamiento de manera óptima e innovadora, en lo cual cabe preguntarse:

¿Qué sistema permitiría registrar y analizar los andares colombianos en los campeonatos o en el entrenamiento de equinos por medio del desarrollo de un dispositivo IoT antes de evaluar finalmente a un ejemplar?

1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo que ayude al entrenamiento o juzgamiento de los ejemplares equinos en los criaderos y ferias; entregando una referencia cuantitativa tanto a los reproductores, jueces, compradores y aficionados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los patrones de sonido de al menos dos tipos de andar.
- Programar un sistema embebido que permita la adquisición de señales y el envío de éstas a la nube.
- Implementar el sistema completo en un ambiente controlado.
- Verificar el funcionamiento del dispositivo con un montaje en campo para un ejemplar con la supervisión de un experto.




1.2 MARCO DE REFERENCIA



1.2.1 Antecedentes

En la búsqueda de sistemas similares al que se desarrolla en este trabajo se ha encontrado que el internet de las cosas es uno de los temas actuales para la computación y busca combinar dicho aspecto con la nube. En este paper *A novel experimental prototype for assessing IoT performance on real-time analytics* se realiza la propuesta de un prototipo simple y novedoso que ofrece análisis en tiempo real de datos sensoriales, el resultado del estudio muestra una buena transmisión de datos de manera instantánea, con una mejor capacidad para leer y analizar la información en tiempo real, según (Manujakshi, 2018), esto en el ámbito de la electrónica. Pero también se ha encontrado que “La Inteligencia artificial también traerá cambios a la forma en que se practicará la agricultura a partir de ahora. En realidad, desde hace aproximadamente 5 años la agricultura de precisión está siendo una de las industrias que ha logrado atraer a más de un centenar de startups para centrarse en su desarrollo. Pero por el momento menos del 20% de la agricultura global utiliza estos recursos”. (Hernández, 2017). y como complemento un video en el cual no solo se muestran las diferencias entre los pasos de los caballos si no el sonido que producen y las ventajas que tendrían los artefactos de análisis computacional para el reconocimiento del paso. Además, se habla sobre la historia, el reglamento y la preparación necesaria que requiere un ejemplar para ser campeón. (Angel, 2015)

Con respecto al foco del trabajo que es el análisis del sonido producido por las pisadas de los caballos, se hallaron varios software que se diseñaron para el análisis de ondas sonoras, es decir, audio, que se muestran en la siguiente tabla (1):

Tabla 1. Antecedentes

Software	Logo	Descripción
Super Collider		Es un entorno y un lenguaje de programación para síntesis audio en tiempo real y composición algorítmica.
ChucK		Fue desarrollado en la Universidad de Princeton, permitirá a través de líneas de código, realizar composiciones, sintetizar sonidos, análisis de audio, procesamiento espectral.
Csound		Es un sistema informático de sonido que se implementa principalmente en un contexto en tiempo real. Csound puede ejecutarse en una gran cantidad de plataformas diferentes, incluidos los principales sistemas operativos, así como Android y iOS. Csound también se puede llamar a través de otros lenguajes de programación como Python, Lua, C / C ++, Java, etc.

Pure Data		Es un lenguaje de programación gráfico desarrollado para la creación de música por ordenador. Pd es un proyecto de código abierto y tiene una gran base de desarrolladores trabajando en nuevas extensiones al programa.
Max/MSP		Max es un entorno de desarrollo gráfico para música y multimedia. El programa ha sido usado durante más de quince años por compositores, artistas y diseñadores de programas interesados en la creación de programas interactivos.

1.2.2 Marco Teórico

Para el desarrollo de este proyecto es necesario comprender ciertos conceptos básicos sobre el análisis del sonido, como:

Frecuencia: La frecuencia del sonido hace referencia a la cantidad de veces que vibra el aire que transmite ese sonido en un segundo. La unidad de medida de la frecuencia es el hercio (Hz). La medición de la onda puede empezar en cualquiera de sus puntos (Vilanova, sf)

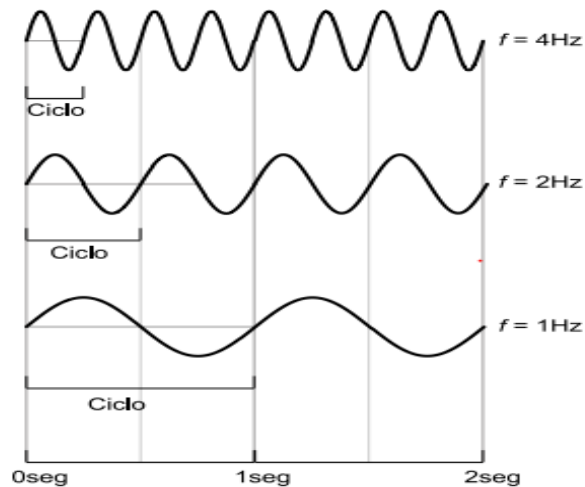


Figura 1. Ejemplo frecuencia de sonido. (Vilanova, sf)

Amplitud: La amplitud de una onda sonora es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, y corresponde a la intensidad de la expansión y la compresión atmosférica que la acompañan. Cuanto más elevada es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido (Vilanova, sf).

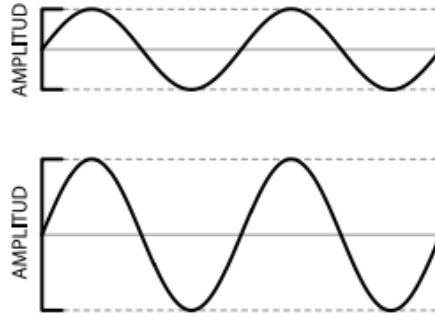


Figura 2. Ejemplo del concepto de amplitud

Armónicos: Los armónicos son las diferentes frecuencias presentes en el movimiento de un oscilador, múltiplos íntegros de la frecuencia fundamental (Vilanova, sf).

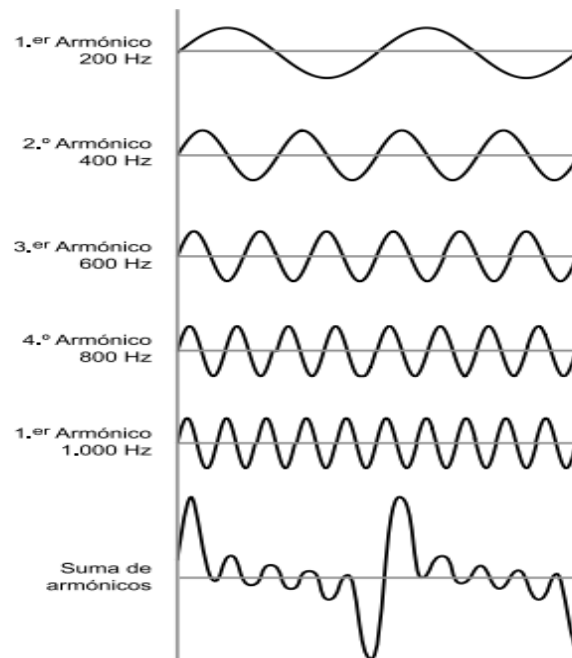


Figura 3. Ejemplo del concepto de armónico. (Vilanova, sf)

Frecuencia de muestreo: Normalmente medida en hercios (valores por segundo), es la resolución en el dominio temporal del que se compone una determinada muestra de audio. (Vilanova, sf)



Figura 4. Ejemplo del concepto de frecuencia de muestreo. (Vilanova,sf)

Durante los últimos años han surgido varios tipos de interfaces que combinan varias tecnologías para permitir el acceso y transferencia de información a través del sonido o el habla, estas interfaces son basadas principalmente en dos tecnologías que son el reconocimiento y la síntesis del sonido con el fin de realizar la transformación y análisis de una señal.

Para el reconocimiento de sonido se han diseñado diversos dispositivos con una estructura como figura (5):

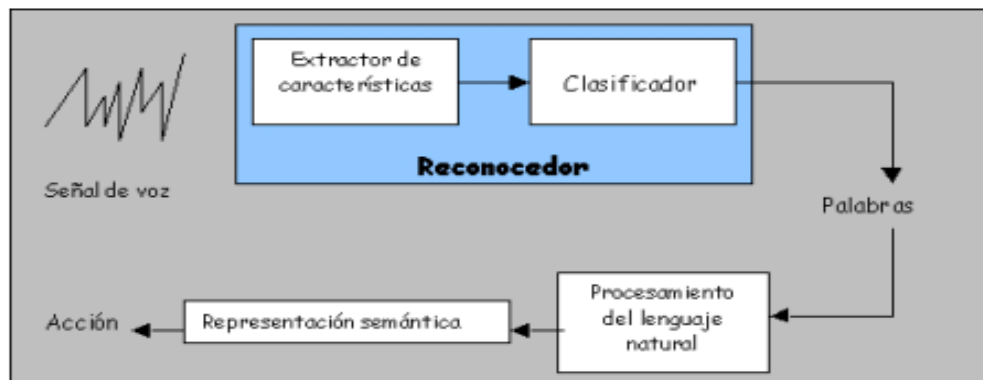


Figura 5. Diagrama de bloques del dispositivo de reconocimiento de voz. (Castell, 2014)

Estos dispositivos se definen como una disciplina de la inteligencia artificial que tiene como objetivo permitir la comunicación hablada entre seres humanos y computadoras, en nuestro caso comunicación entre el sonido que provocan las pisadas de los caballos y las computadoras, para esto se realiza varias transformaciones de las señales adquiridas por el dispositivo como (Castell, 2014):

Para la interacción con las ondas sonoras se han encontrado varios métodos los cuales se han convertido en una de las etapas más importantes para el análisis del sonido radica en seleccionar de una gran cantidad de información captada, correcta y útil para las aplicaciones estipuladas.

Existen algunas técnicas utilizadas para dicho análisis, a continuación, se enuncian y describen las técnicas más comunes:

1. Análisis de amplitud: Consiste en analizar el volumen de una muestra de sonido determinada, a partir de esto se puede procesar de las siguientes maneras, dependiendo de la aplicación para la cual va a ser implementado:

- Seguidores de envolvente: Comúnmente se utiliza una estrategia denominada "suavizado" de la onda sonora, la cual permite extraer los datos de amplitud aparente. Esta técnica se conoce como seguimiento de la envolvente (envelope following). Normalmente, las envolventes se pueden ajustar mediante cuatro parámetros: ataque, caída, sostenimiento, extinción. Definiendo los tiempos de cada uno de estos parámetros, se puede generar envolventes de todo tipo. A partir de la identificación de estas características se puede entrar a comparar patrones y posteriormente identificar un sonido en específico. Figura (6).
- Definición de umbrales: Este es uno de los métodos más utilizados para evidenciar comportamientos de un fragmento determinado de sonido. El patrón se define con base a un umbral de amplitud (amplitude treshold), definido en decibeles (dB).
- Calculo estadístico: A través de este método se puede llegar a diseñar interacciones complejas que tengan en cuenta factores como el nivel de cambio de volumen a lo largo del tiempo.

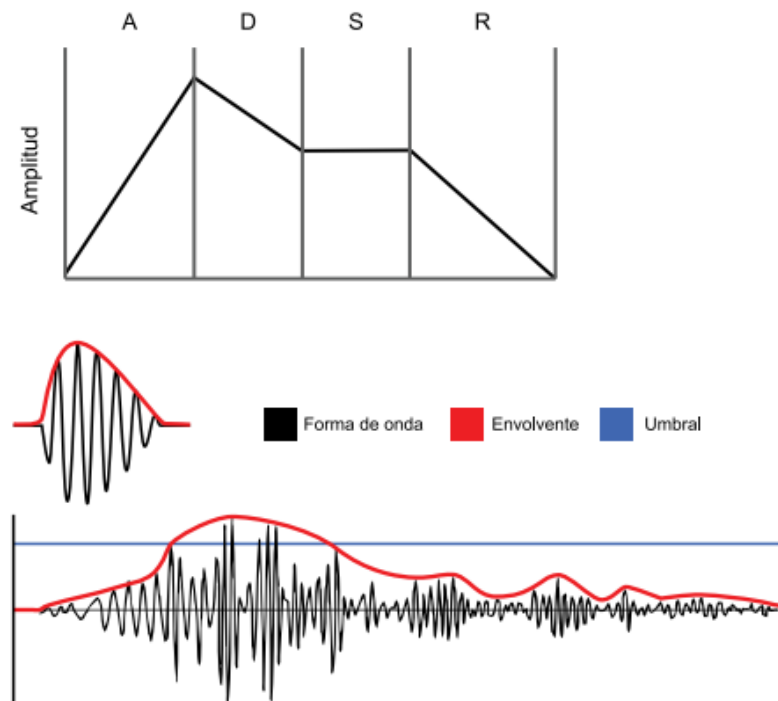


Figura 6. Ejemplo del concepto seguidor de envolvente. (Vilanova, sf)

2. Análisis de frecuencia: Dentro de este análisis están comprendidos dos métodos principales

- ZCD (zero crossing detector o detector de cruces por cero): Es un método que se aplica en el dominio del tiempo y funciona relativamente bien en casos de análisis de señales sintéticas y periódicas. El algoritmo de cruce por cero se basa en la detección del cruce de la señal por el punto de amplitud cero y el cálculo del tiempo entre dos cruces sucesivos. Con base en esto se puede obtener la frecuencia de la señal en análisis fácilmente.

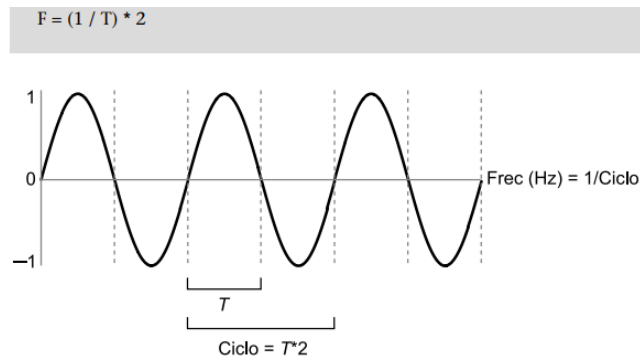


Figura 7. Método de ZCD. (Vilanova, sf)

- FFT (fast fourier transforms): Es un método que se aplica en el dominio de la frecuencia. Se basa en la reducción de un fragmento de la señal a sus componentes sinusoidales para facilitar el análisis matemático. Una vez hecha esta reducción sinusoidal, el algoritmo da información sobre las diferentes frecuencias presentes en la señal y sus valores de amplitud y es capaz de facilitar una relación de energía para cada banda de frecuencias dentro del espectro sonoro.

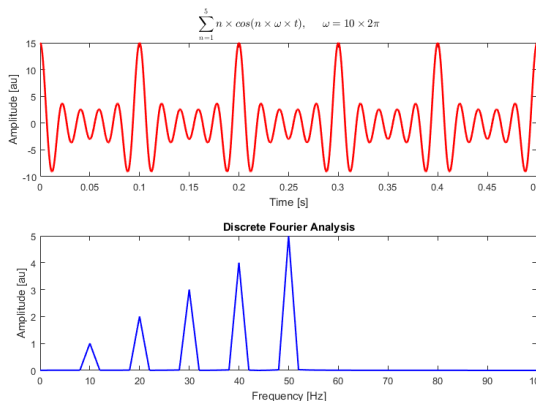


Figura 8. Método de Transformada rápida de Fourier FFT. (Vilanova, sf)

Esta información se ha basado del documento de análisis de audio, (Vilanova, sf).

Además, existe un método llamado correlación cruzada el cual frecuentemente es utilizado para determinar la correlación o similitud existente entre dos procesos o señales, la necesidad de comparar dos señales $x_1[n]$ y $x_2[n]$ de la misma longitud L .

Una medida de la correlación existente entre ambas señales puede efectuarse mediante la suma de los productos de los correspondientes pares de puntos mediante la expresión conocida como correlación cruzada: 1.724-1.901 (Universidad del país Vasco,sf)

$$c_{12} = \sum_{n=0}^{N-1} x_1[n] \cdot x_2[n]$$

- Un resultado negativo en c_{12} indica una correlación negativa, es decir un incremento en una variable se asocia con un decremento en la otra.
- Un resultado positivo en c_{12} indica una correlación positiva, es decir un incremento en una variable se asocia con un incremento en la otra.

La anterior definición de la correlación cruzada produce un resultado que depende del número de muestras. Una definición alternativa es, la cual promedia la suma de productos entre el número N de elementos. (Universidad del país Vasco, sf)

$$c_{12} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x_1[n] \cdot x_2[n]$$

Uno de los aspectos más importantes en cuanto a temas de industria 4.0, es la recolección y el análisis de la información, dentro de esta rama de la tecnología se está evolucionando constantemente en dispositivos de medición de variables o sensores, que sirven como transductores o conversores de lo que pasa en un sistema determinado y convertirlo a un lenguaje que entienda una máquina o artefacto (variaciones de voltaje y corriente). De ahí surge el concepto conocido como tarjeta de adquisición, las cuales sirven para obtener una muestra de una variable física que inicialmente fue transducida o transformada por un sensor, en un dato que pueda ser reconocido, graficado y registrado por un computador, y así realizar una tarea o acción específica en función del cambio de dicha variable. (Jmindustrial, 2019)

Para obtener la señal del sonido debe de pasar por un sistema de adquisición de datos el cual es un proceso de medición de un fenómeno físico o eléctrico a través de un sistema que se compone de tres etapas principales: sensar las variables de interés, adquisición y acondicionamiento de señales de entrada, procesamiento y visualización computacional. (NI,sf).

En comparación con los sistemas de adquisición tradicionales, los sistemas DAQ, aprovechan y se apoyan en la potencia de procesamiento, la productividad, la visualización y las facilidades de conectividad de las PC estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Figura 9. Proceso de adquisición de datos DAQ (NI,sf)

Etapas de adquisición:

Obtener las variables de interés: En esta etapa se tiene un dispositivo llamado sensor, que permite medir las variaciones de los fenómenos medio ambientales y posteriormente transducir dichas mediciones en señales analógicas de voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico, todo esto para luego ser adquiridos por un dispositivo DAQ mediante sus puertos analógicos o digitales. (NI,sf)

- **Adquisición y acondicionamiento de señales de entrada:** Antes de adquirir las señales con el dispositivo DAQ es fundamental adecuarlas mediante circuitos electrónicos, que tienen como principal función realizar una limpieza o reducir el ruido en las señales que posteriormente serán procesadas. (NI,sf)
- **Procesamiento y visualización computacional:** Comúnmente la comunicación entre el dispositivo DAQ y el PC se realiza mediante conexión USB. En esta etapa es donde toma importancia la programación del código de adquisición, el acondicionamiento digital de las señales y el procesamiento de datos que provienen de la tarjeta DAQ. (NI,sf)

También para la adquisición existen tarjetas que hacen énfasis en una señal en específico, es decir, tarjetas de adquisición de audio; estas son un circuito electrónico que se compone de múltiples puertos de conexión de elementos de audio, y sus funciones principales son la grabación, la reproducción y la síntesis de las ondas de sonido. Todo esto enfocado a optimizar las señales y obtener un audio de calidad profesional. Dichas tarjetas tienen aplicaciones en multimedia, edición de video o audio, presentaciones multimedia y entretenimiento. (Aguilar, 2009)

Características de una tarjeta de sonido

- Las tarjetas por lo general tienen un chip de sonido integrado, que contiene el conversor digital-analógico, su función es de "traducir" formas de ondas grabadas o generadas digitalmente en una señal analógica y viceversa.

A demás para obtener una señal como la del sonido también puede ser adquirida por medio de un micrófono esto es una que actúa como un transductor, en otras palabras, un dispositivo capaz de

transformar o convertir energía. Detecta energía acústica (sonido) y la transforma en energía eléctrica equivalente para posteriormente darle un uso como en un altavoz o un auricular, el sonido captado por el transductor del micrófono debe salir del transductor del altavoz sin cambios significativos. (Audio-technica, sf).

Luego de adquirir la señal con alguna herramienta, esta se dirige a ser procesada y analizada para obtener los resultados que sean necesarios, en este caso son cuantitativos, debido a que son las relaciones y similitudes de las señales que son producidas por las pisadas de los ejemplares, se quiere que dicho análisis se encuentre disponible para su visualización en una pantalla, para alcanzar este objetivo se pensó en diferentes maneras de comunicación y proyección, donde se encontró una solución que está en la capacidad de mostrar los datos y ponerlos en disposición para ser visualizados desde cualquier lugar y para cualquier persona de su interés, esta solución es llamada IoT que se refiere a la interconexión digital de los objetos cotidianos con internet, conformado de múltiples tecnologías como sensores que permiten conectar el mundo físico con el digital, computadores que permiten procesar esa información y plataformas web donde se procesan y almacenan los datos, esta infraestructura de red inteligente mejora las operaciones, aumenta la seguridad, protección y productividad. Además, permite obtener una perspectiva valiosa de datos para optimizar la automatización (Iac, 2018).

Por último, se debe de tener en cuenta para las comparaciones entre señales, que estas se acojan al reglamento de competencias equinas en Colombia, las cuales son dictadas o establecidas por la fundación Confepaso internacional esta es la entidad encargada de agrupar el orden internacional y representar las Federaciones y/o Asociaciones equinas de los países miembros. También dirige, coordina, rige y controla las actividades técnicas de crianza, exhibición, fomento, desarrollo, competencia y promoción deportiva.

El propósito de Confepaso es el fomento, mejoramiento, desarrollo y fortalecimiento de todas las actividades vinculadas con el enaltecimiento y promoción a nivel internacional de los Caballos de Paso en los diferentes aires o andares que los caracterizan, como: el Paso Fino, el Trote y Galope Colombiano, la Trocha y Galope Colombianos y la Trocha Colombiana.

El reglamento utilizado para el juzgamiento de ejemplares en competencia se encuentra en la página oficial de Confepaso.

Los segmentos que son útiles para este trabajo son las generalidades del caballo donde se describen los 4 andares registrados para el caballo colombiano y las definiciones básicas para el entendimiento de estos las cuales son:

Aire o Andar: Cada uno de los modos de andar el caballo.

Aire Compuesto: El que está conformado por dos aires (Trote y galope y Trocha y galope).

Aire Simple: El que está formado por un único aire (Paso fino y trocha).

- Caballo de paso fino: Forma de andar característica en la cual los ejemplares se desplazan con movimientos derivados de la ambladura caracterizados por sus avances laterales. La secuencia de la pisada en la transición efectuada por bípedos laterales, sucesivos y alternos, marcando dos tiempos con cada bípedo para completar cuatro tiempos. Musicalmente al oído se traduce por movimientos rápidos e igualmente espaciados de uno - dos – tres - cuatro (taca, taca, taca, taca). (Confepaso, 2014).

- Trocha pura colombiana: Forma de andar característica de algunos equinos, considerada como un aire, disociado en cuatro batidas no isocrónicas, que ejecutan rítmica y cadenciosamente los cuatro tiempos, e identificados por la sonoridad producida por sus cuatro batidas al ejecutar la secuencia de su ciclo. Auditivamente, se expresión sonora es la siguiente: tras, tras, tras, tras. (Confepaso, 2014).

- Galope colombiano: Es un movimiento de avances diagonales ejecutado en tres tiempos, la expresión sonora del galope es: catorce, catorce, catorce, catorce. En el galope de tres batidas, el cambio del trote al galope o de la trocha al galope, no debe significar alteración de la comodidad para el jinete, a pesar de haber una evidente variación en la magnitud del desplazamiento. (Confepaso, 2014).

- Trote colombiano: Es un movimiento realizado por bípedos diagonales sucesivos y alternos ejecutados en dos tiempos que produce un golpe seco al hacer contacto con el piso. La expresión sonora del trote es: tas, tas, tas, tas. (Confepaso, 2014).

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se utilizará la metodología de Karl. T. Ulrich (Ulrich, 2004) la cual se encuentra fundamentada en seis fases, de las cuales solo serán necesarias 4 de ellas, que serán mencionadas a continuación, cada fase describe las actividades que se desarrollarán en el transcurso del proyecto.

2.1 Planeación

En esta primera etapa del proyecto se hace la identificación y definición de las áreas en el cual es útil el sistema, por lo anteriormente mencionado se realiza la delimitación del proyecto y la determinación de los criterios teóricos a utilizar.

2.2 Desarrollo del concepto

En esta etapa se realiza la identificación del problema, definición de necesidades y la identificación de los usuarios lo cual es la base para comenzar a definir las funciones principales que debe de tener el dispositivo, utilizando el método de caja negra y caja transparente, donde se identifican los principales subsistemas, las entradas y salidas del sistema.

2.3 Diseño del detalle

Para comenzar a diseñar principalmente se procede a buscar las soluciones que cumplan las funciones establecidas y posteriormente elegir la opción que mejor se acomode a las necesidades del usuario planteadas, esta elección se basa en una matriz morfológica. Teniendo en cuenta la arquitectura funcional del producto y el diseño se definen las características físicas con las que va a contar el sistema, Además, se comienza con la programación necesaria y se identifican los proveedores de las partes comerciales que se necesiten como circuitos integrados, resistencias, capacitores, etc. De esta manera proceder con el desarrollo del producto y el prototipo.

2.4 Pruebas y refinamiento

En esta etapa, se realizan pruebas de funcionamiento del prototipo en un sistema definido controlado para evaluar el correcto funcionamiento de las construcciones y desarrollos realizados previamente. Se toman acciones correctivas. Por último, se verifican los resultados, teniendo presente que si se están cumpliendo los requisitos de diseño y requerimientos de usuario.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Lista de necesidades

Para iniciar el proceso de selección de dispositivos electrónicos que serán usados en el desarrollo de este sistema, se parte de una recopilación de diferentes conceptos que son necesarios para el entendimiento de las variables a usar, estas son: voltaje, corriente, frecuencia, los armónicos, ancho de banda, sonido, amplitud, entre otros.

Estas variables se encuentran descritas en el marco teórico, para la aclaración de estos conceptos fueron obtenidos de un proceso de búsqueda detallada de información, también es necesario conocer los dispositivos y sensores que permitan medir cada una de estas variables, pero además alrededor se evidencia la necesidad de utilizar otros términos, como son la comunicación y la compatibilidad con una plataforma, debido a que el fin de este trabajo es que los resultados estén disponibles para todo el público al momento de que el dispositivo sea usado en campeonatos o festivales equinos.

También se debe de involucrar de donde se obtendrá las señales de las cuales se obtendrán los datos y que estas son producidas por animales en este caso caballos, para facilidad del trabajo los andares a tratar e investigar son el galope y la tocha colombiana debido a que, estos son los más comunes en Antioquia y son los más representativos del caballo criollo.

Ya que no se encuentra información previa del sonido del caballo en su andar, es decir, no hay información de frecuencia, amplitud, intensidad entre otras características; se realizaron un pruebas previas al desarrollo del dispositivo, donde se grabaron 2 caballos en pista para obtener datos de los cuales se pudieron extraer rangos de frecuencias, ancho de banda y a demás proporciono la información de si era necesario más de un micrófono en la pista o si uno estaba en la capacidad de adquirir la señal.

Las pruebas fueron las siguientes:

- 50% de la pista con un solo micrófono para un andar en específico (Trocha).
- 25% y 75% de la pista con dos micrófonos para un andar en específico (Trocha).

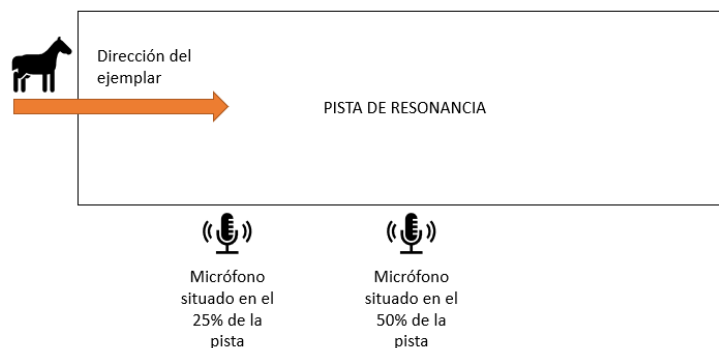


Figura 10. Esquema del entorno de prueba

Luego de obtener las diferentes grabaciones se procede a realizar un análisis en el dominio de la frecuencia respectivo, se utilizó un software llamado Audacity.

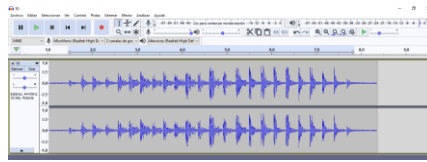


Figura 11. Análisis de frecuencia 50% en Audacity.

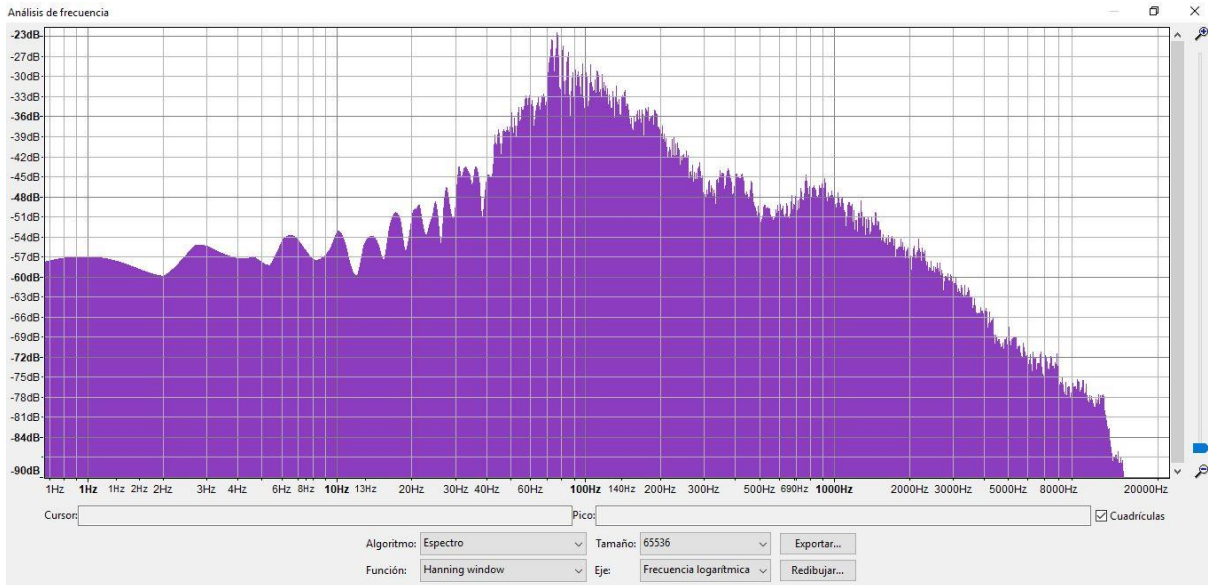


Figura 12. Análisis de frecuencia 50% en Audacity.

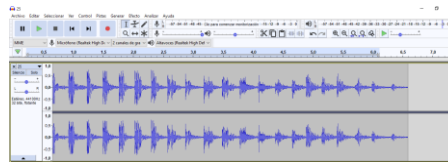


Figura 13. Análisis de frecuencia 25% en Audacity.

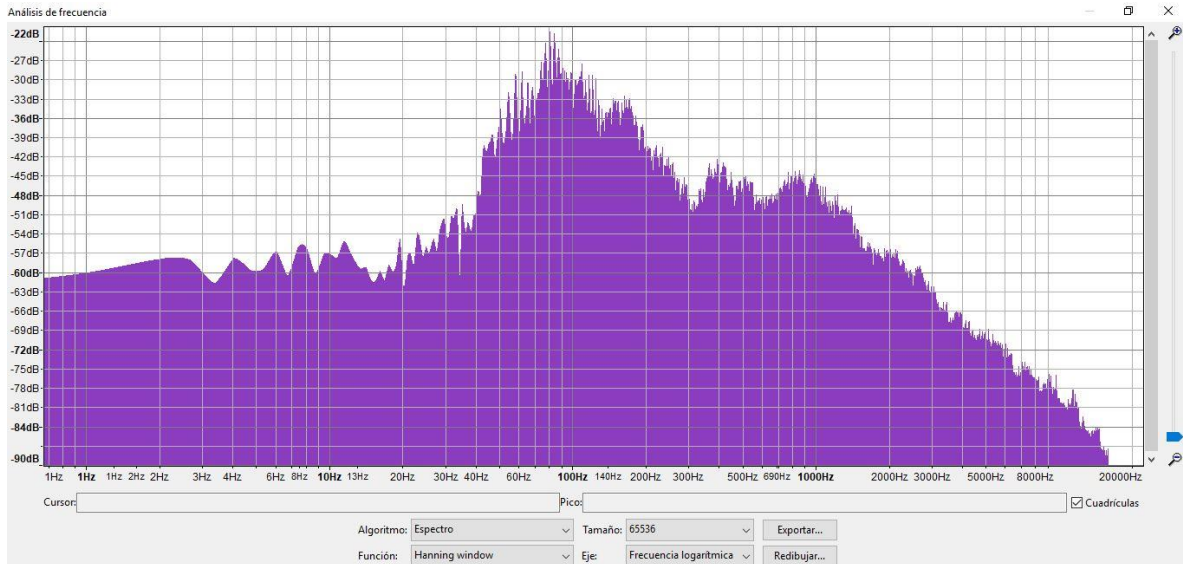


Figura 14. Análisis de frecuencia 25% en Audacity.

Luego de utilizar la herramienta propuesta y comparando los dos resultados obtenidos, se puede evidenciar que el análisis de frecuencia es muy similar en cuanto a las amplitudes y las frecuencias que se obtienen a lo largo de cada una de las grabaciones. Las variaciones obtenidas tanto en la frecuencia y la amplitud del análisis pueden ser producidas por diversos factores:

- Altura de grabación de ambos micrófonos.
- Posición del celular al momento de la grabación.
- Distancia desde la pista hasta el micrófono.

Estas variaciones pueden ser mitigadas por medio de filtrado de las señales y garantizando igualdad de mediciones en los diferentes puntos de la pista, debido a esto en este análisis se concluye que el punto de donde se tome la medición no afecta el análisis de frecuencia a realizar por lo que se decide utilizar un solo micrófono en la mitad de la pista preferiblemente.

3.2 Identificación de requerimientos

Tomando como punto de referencia, la información presentada en la lista de necesidades y en el marco teórico, las características y herramientas para analizar el sonido y desarrollar el sistema, son:

Señal Digital

- Frecuencia
- Ancho de banda
- Armónicos
- Frecuencia de muestreo
- Amplitud

Herramientas:

Para el análisis de sonido es recomendado el uso de algunos elementos que facilitan la adquisición y el procesamiento de este, tales como:

Microfonía

El micrófono es un transductor electroacústico, su función es la de traducir las vibraciones debidas a la presión acústica generada por las ondas sonoras en energía eléctrica, usualmente este cuenta con una impedancia que trata de una medida de la oposición a la corriente alterna que proporciona el micrófono a la salida de este. Generalmente, los micrófonos pueden dividirse en impedancia baja (50-1000 ohmios), media (5000-15 000 ohmios) y alta (más de 20 000 ohmios). (audio-technica, sf)

Tipos de micrófonos

- **Direccionales:** Son micrófonos que caracterizan por ser muy sensibles en una única dirección. Dentro de los inconvenientes que presentan estos tipos de micrófonos es que su característica de unidireccionalidad funciona mejor a frecuencias altas que a frecuencias bajas (puesto que la direccionalidad del sonido depende de su frecuencia). Su principal ventaja radica en que permite una captación localizada del sonido.
- **Omnidireccionales:** Son micrófonos que tienen un diagrama polar de 360°. Este tipo de micrófonos tienen una respuesta de sensibilidad constante, lo que significa que captan todos los sonidos, independientemente de la dirección desde la que lleguen. Su principal inconveniente es que, al recibir toda clase de perturbaciones, son sensibles al ruido del entorno, reflexiones acústicas, entre otras.
- **De contacto:** Toman el sonido porque están en contacto físico con el instrumento. Se pueden utilizar también como sensores.

Tarjetas de sonido:

Para conectar un micrófono a un ordenador es necesario utilizar una tarjeta de sonido, casi todos los ordenadores actuales llevan tarjetas de audio integradas y suelen incorporar un simple conector (Jack). La mayoría de los sistemas de microfonía profesional se conectan mediante XLR, mucho más estable y libre de ruidos, por lo que se recomienda que, en el caso de que se necesiten datos sonoros netos y fiables para el diseño interactivo, se usen tarjetas de audio externas con entradas y salidas con conectores balanceados y de gran formato.

Fuentes sonoras:

Para entrar a analizar un sonido es fundamental conocer la fuente que lo emite y así escoger de manera adecuada el tipo de receptor de audio a implementar para captar dichas perturbaciones.

3.2.1 Especificaciones objetivo

¿Cómo se puede analizar el sonido desde un medio digital?

El sonido se adquiere de manera analógica y es convertido en datos que se almacenan de manera binaria, el procesamiento de estos depende netamente de una resolución determinada por las capacidades de memoria y poder de computación del procesador utilizado. Del mismo modo que una imagen se almacena como una matriz de un número finito de píxeles, una onda sonora se almacena y se procesa como una lista finita de valores de amplitud en el tiempo.

La conversión de las vibraciones del sonido en la realidad, son de "resolución infinita", en valores digitales comprensibles por un microprocesador esto es debido a un conjunto de componentes y microcontroladores electrónicos llamados convertidores analógico-digital (ADC). Mediante transductores electroacústicos (micrófonos), se convierten las vibraciones en datos de audio analógico (cambios de voltaje), y los ADC se encargan de traducir estos valores de voltaje en señales binarias procesables por los ordenadores.

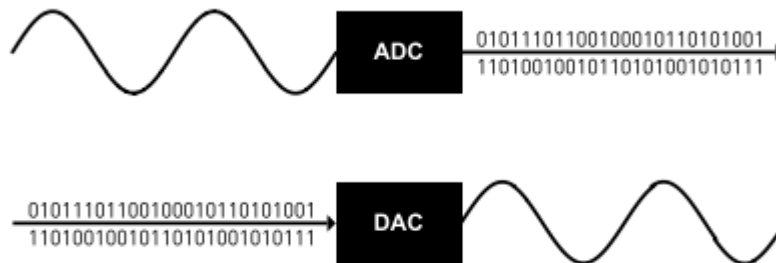


Figura 15. Conversión de sonido. (Vilanova, sf)

3.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DE CONCEPTO

Después de analizar y definir las necesidades de este proyecto se continúa a desarrollar el diseño de concepto; Para lograr un diseño de concepto claro y conciso, es necesario la realización de la caja negra, donde se especifican las entradas y salidas del sistema. Posteriormente se elabora una caja transparente, donde se definen los procesos internos necesarios para transformar las entradas planteadas y convertirlas en las salidas deseadas.

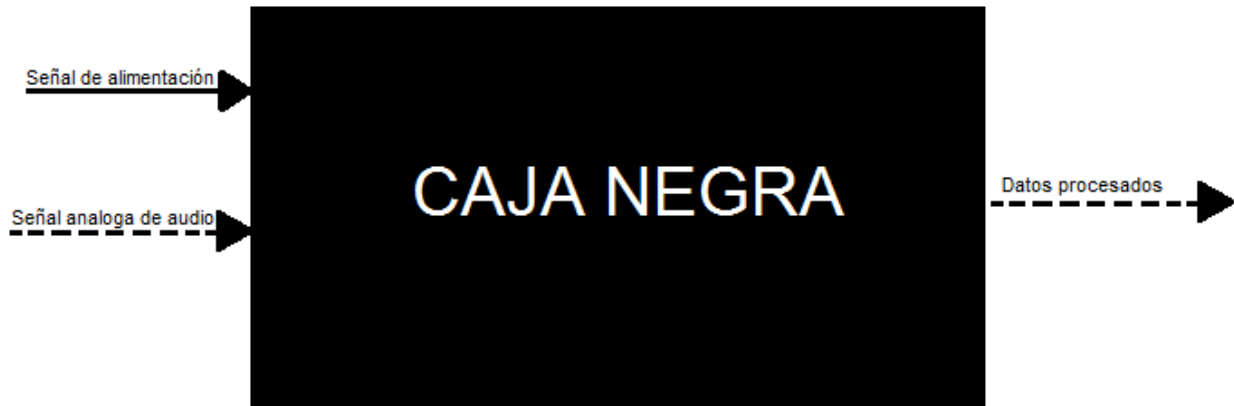


Figura 16. Caja Negra

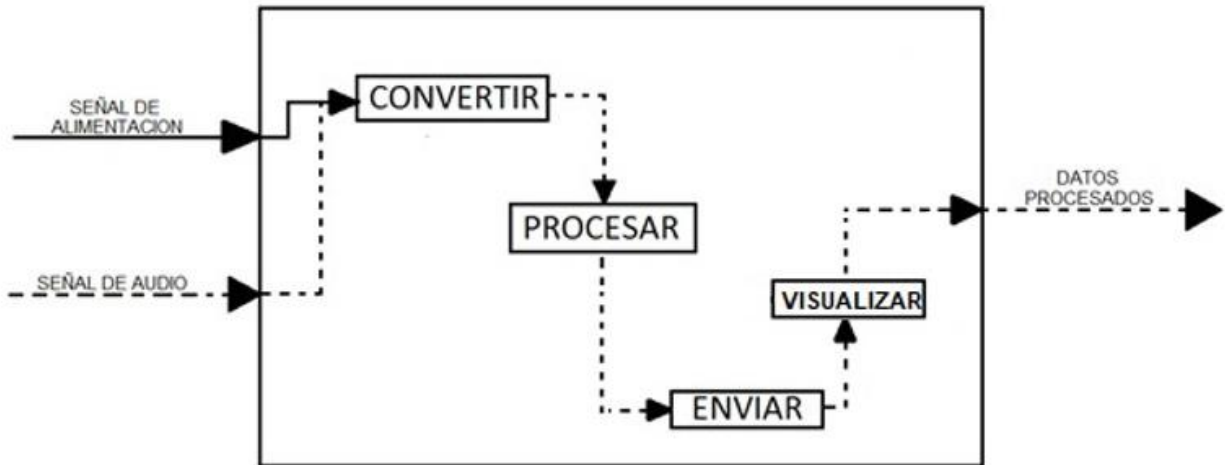


Figura 17. Caja Transparente



3.3.1 Registro de soluciones


Teniendo claridad sobre las necesidades y los conceptos de diseño, se realiza la búsqueda de las posibles soluciones para cada función que componen la caja transparente y que ventajas y desventajas tienen.

Convertir una señal de audio

Para esta función, existen diferentes opciones las cuales permiten tomar una señal de entrada y adecuarla a los valores necesarios según sea el caso, tanto para facilidad de procesamiento como para protección del sistema. La tabla 2, hace referencia a las posibles soluciones encontradas que se acomodan al problema de la función de convertir una señal.

Tabla 2. Registro de soluciones –Convertir señal



Alternativa de solución	de	Definición	Ventajas	Desventajas
	de	Son aquellos micrófonos captan las vibraciones de aquellos objetos con los que entran en contacto. Se utilizan tradicionalmente en instrumentos de cuerda para captar la vibración directamente de la caja de resonancia y permiten una gran cantidad de matices. (Rohrer, sf)	<ul style="list-style-type: none"> ● Reciben las vibraciones únicamente a través de un sólido lo que permite aislar muy bien el sonido. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rango de frecuencia limitado. ● Bajo costo
	de	Es un dispositivo diseñado para captar ondas sonoras y convertirlas en señales eléctricas, basado en las propiedades piezoeléctricas de algunas sustancias cristalinas, que son capaces de generar diferencias de potencial cuando son sometidas a algún tipo de presión mecánica. (Wikipedia, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> ● Son aptos para captar señales al estar conectado a un elemento sólido o sumergido en un líquido. ● Ser capaces de eliminar sonidos externos que interfieren y no ser influenciado por sonidos reflejos de objetos cercanos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Respuesta en frecuencia irregular. ● Rango de frecuencia limitado. ● Costoso.

<p>Micrófono sencillo</p> 	<p>Sensor de sonido con sensibilidad de micrófono de 52dB.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Voltaje de funcionamiento: 3.3V ~5.3V ● Sensibilidad del micrófono: 52dB ● Rango de frecuencia: 50Hz ~ 20KHz ● Contiene el amplificador LM386 ● Ganancia máxima: 200 ● Indicador de señal de salida ● Exactitud ajustable 	<ul style="list-style-type: none"> ● Muy bajo costo. ● Amplios rangos de frecuencia. ● Sencillez. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se pueden presentar distorsiones en la señal captada (ruido)
---	--	--	--

Procesar señal

Para el procesamiento de la señal y toma de mediciones se indagó sobre las posibles soluciones existentes. El registro de soluciones para la función procesar, presenta algunas de las referencias que cumplan con los requisitos básicos previamente señalados del proyecto.

Tabla 3. Registro de soluciones – Procesar



Alternativa de solución	Definición	Ventajas	Desventajas
<p>NI DAQMX</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Número de canales ● Diferencial 4 ● De un solo extremo 8 ● Resolución ADC de 14 bits ● Velocidad de muestreo máxima (total) 20 kS/s ● Tipo de convertidor Aproximación sucesiva ● Canales de salida análoga 2 ● Entradas y salida digitales ● Compatibilidad con labVIEW 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mediciones especiales. ● Mayor velocidad ● Kit de procesamiento de señal ● Tamaño 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alto costo ● No Modulo de WI-FI integrado
<p>Raspberry pi 3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU: Quad-Core Cortex A7 a 900MHZ ● GPU: VideoCore IV de doble núcleo ● RAM: 1GB DDR2 ● Puertos: ● 4 x USB 2.0 ● 1 x 40 GPIO pin 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mediciones especiales. ● Velocidad de procesamiento Alta ● Conexión wi-fi 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alto costo

	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 X HDMI 1.4 ● 1 x Ethernet ● 1 x Combo audio/mic ● 1 x Interfaz de cámara (CSI) ● 1 X Interfaz de Pantalla (DSI) ● 1 x Micro SD ● 1 x Núcleo Grafico 3D ● Módulo Bluetooth ● Módulo de Wi-Fi b/g/n en la banda de 2.4GH 		
<p>Tarjeta de audio</p>  	<p>1. Potencia de salida continua de 25 W + 25 W atTHD = 10% con VCC = 20 V y RL = 8 Ω</p> <p>Operación de suministro único de amplio rango (8 - 26 V)</p> <p>Alta eficiencia ($\eta = 90\%$)</p> <p>Cuatro configuraciones de ganancia fija seleccionables de 21.6 dB, 27.6 dB, 31.1 dB y 33.6 dB</p> <p>Entradas diferenciales minimizan modo de ruido</p> <p>Protección contra cortocircuitos</p> <p>Protección de sobrecarga térmica</p> <p>Sincronización externa.</p> <p>2. Chip amplificador: TDA7498</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia de salida: 80W+80W (vcc=34V) • Impedancia: 8 ohm • Ganacia configurable: 25.6 dB, 31.6 dB, 35.1 dB , 37.6 dB 	<ul style="list-style-type: none"> ● Filtrado de señal ● Bajo costo ● Compatible con Raspberry ● Gran almacenamiento de datos para procesar. ● Eficiencia de 90% ● Protección shortcircuit ● Configurable ● Buena documentación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Costo alto. ● Consume recursos del sistema. ● Poca documentación. ● Alto costo

Enviar señal

Para enviar la señal se debe de contar con una plataforma base y un módulo adicional que se cumpla con la función en específico como: wifi, bluetooth, bus, etc. enviar datos a la nube, donde se filtrarán y seleccionar los más relevantes y necesarios para cumplir con el objetivo del proyecto, que son lo que se le mostraran al usuario de interés.



Tabla 4. Registro de soluciones – Enviar señal

Alternativa de solución	Definición	Ventajas	Desventajas
Ethernet 	Se trata de un cable capaz de conectar diferentes dispositivos con puerto ethernet a Internet.	<ul style="list-style-type: none">● Conexión segura● Bajo costo.● Fácil manejo.● Trabajo con todo el ancho de banda.	<ul style="list-style-type: none">● Alcance limitado.● Velocidad comprometida.
WI-FI 	Es una tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.	<ul style="list-style-type: none">● Rapidez de ejecución.● Eficiente.● Conexión desde cualquier lugar.	<ul style="list-style-type: none">● Menor protección de los datos.● Costo alto.● Distancia limitada.

Visualizar resultados

Para visualizarlos resultados obtenidos de las comparaciones se debe de tener una plataforma base que reciba los datos enviados por el módulo, allí se mostraran los valores de las similitudes entre las señales.














Tabla 5. Registro de soluciones – Visualizar resultados

Alternativa de solución	Definición	Ventajas	Desventajas
<p>Azure</p> 	<p>Es conjunto de servicios en la nube para ayudar a satisfacer necesidades comerciales. Le otorga la libertad de crear, administrar e implementar aplicaciones en una red mundial enorme con sus herramientas y marcos favoritos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Backup y Storage en la nube ● Reducción de costos. ● Uso operativo ● Abierto y flexible 	<ul style="list-style-type: none"> ● Requiere una licencia. ● Mucho espacio de almacenamiento ● Sobredimensionado
<p>Ubidots</p> 	<p>Es una plataforma que presta un servicio en la nube, cada usuario cuenta con un portal web para visualizar la información de sus sensores de manera remota, centralizada y en tiempo real.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de un entorno web de alta calidad de manera simple. ● Visualización de múltiples variables al tiempo. ● Compatibilidad con múltiples dispositivos IoT de diferentes marcas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alto costo en la versión profesional (30 días de prueba) ● Personalización restringida de la pagina ● No posee aplicación móvil.

3.3.2 Matriz Morfológica

Con el fin de darle continuidad al diseño de concepto, se procede a desarrollar la matriz morfológica, donde se descompone el problema general, en sus componentes básicos, que son los descritos en el registro de soluciones.

Tabla 6. Matriz Morfológica

FUNCIÓN	CONCEPTOS SOLUCIÓN			
	A	B	C	D
CONVERTIR SEÑAL	 <p>8Pcs Micrófono piezoeléctrico</p>	 <p>Micrófono de contacto</p>	 <p>Micrófono sencillo</p>	 <p>Micrófono profesional</p>
ACONDICIONAMIENTO DE AUDIO	 <p>Tarjeta de audio 1</p>	 <p>Tarjeta de audio 2</p>	<p>Sin tarjeta de sonido</p>	
PROCESAR SEÑAL	 <p>NI DAQMX</p>	 <p>Raspberry pi 3</p>		
ENVIAR SEÑAL	 <p>Ethernet</p>	 <p>WI-FI</p>		
PROTECCIÓN				

En la tabla 6, se presenta la matriz morfológica resultante, con el fin de tener claridad sobre los componentes que se acomodan mejor a las necesidades del proyecto.

Concepto A

Para convertir la señal se utiliza un micrófono piezoeléctrico debido a las características de contacto que posee con la idea de instalar este sobre la pista de resonancia, luego se decide filtrar la señal obtenida con una tarjeta de audio (1) de la cual se espera tener un mejor resultado de una señal más limpia para posteriormente procesarla con una Raspberry pi 3 debido a la velocidad de procesamiento y que esta posee el módulo de comunicación wi - fi integrado que sirve para transmitir los datos a la nube y posteriormente visualizarlos en un ordenador, además tendrá una protección con acrílico.

Concepto B

Para este concepto se relaciona un micrófono de contacto sencillo, con el fin de obtener de mejor manera las vibraciones de la pista de resonancia por donde pasan los ejemplares, este aunque también es de contacto es más económico con referencia al utilizado en el concepto A, al ser un micrófono de contacto se decide filtrar la señal con una tarjeta de audio (2) para obtener una señal más limpia de ruidos provocados por vibraciones externas, luego esta señal será procesada por una Raspberry pi2, la cual tiene incorporado un módulo de conexión de ethernet por el cual se enviarán los datos a un ordenador, la ventaja de este concepto es que es más económico en su totalidad con respecto al A pero tiene un limitante como la distancia en la cual este ubicada el dispositivo, tiene una diferente protección de madera a diferencia del acrílico es más económica.

Concepto C

Se utiliza un micrófono sencillo profesional debido al rango de frecuencias que este tiene en la capacidad de obtener. Como primera instancia este micrófono que posee un condensador lo cual hace que no sea necesario que el micrófono se utilice en un determinado campo magnético, es decir, que es adaptable a diferentes situaciones, posteriormente se procesa la señal directamente en la Raspberry pi 3 debido a su velocidad de procesamiento y a su circuito integrado de módulo wi-fi para transmitir los datos a la nube y luego su utilización sea más fácil, la protección es de madera por su bajo costo.

Concepto D

Se prefiere hacer uso de un micrófono sencillo (WS-9534) pero de alto rendimiento, debido a su costo y características técnicas que posee como que se destaca por la excelente reproducción de la señal obtenida, lo que indica que se encuentra en la capacidad de transmitir una señal con menor ruido, para terminar de tener una señal sin ruido totalmente esta será filtrada por una tarjeta NI DAQ MX debido a que esta posee la opción de filtrado digital aparte de que esta permite el procesamiento de la señal y posteriormente él envió de los paquetes de datos a la nube para ser visualizados en un ordenador o en dispositivos móviles por un módulo wi – fi y la protección consta de una combinación de polímero abs y acrílico esto permite un diseño robusto y sin tantos puntos críticos.

3.3.3 Selección de concepto

Para obtener una selección que favorezca el correcto desarrollo del proyecto, se fijan algunos criterios de decisión, los cuales tiene diferentes porcentajes de favorabilidad, según sea la necesidad. La tabla 8 muestra el resultado de la realización de este ejercicio de selección de concepto, con su calificación (C) y su ponderación (P). para obtener el valor total de cada concepto, se suman todas las ponderaciones y se obtiene un valor final que servirá para tomar la mejor decisión.

Tabla 7. Matriz de decisión

Criterio de decisión	Peso	Concepto A		Concepto B		Concepto C		Concepto D	
		C	P	C	P	C	P	C	P
Tiempo de entrega del proveedor	10%	2	0.2	3	0.3	4.5	0.45	4.5	0.45
Accesibilidad a documentación	30%	3	0.9	3.5	1.05	4	1.2	4	1.2
Compatibilidad entre tecnologías	20%	4	0.8	4	0.8	5	1	5	1
Costo	20%	2	0.2	4	0.8	3	0.6	4	0.8
Facilidad de uso	20%	4	0.8	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Total de puntos			2.9		3.75		4.05		4.25
Posición			4		3		2		1
¿Desarrollar?		NO		NO		NO		SI	

Después de realizar la matriz de decisión, se verifica entonces que el concepto D con el uso de un micrófono sencillo (WS-9534) y una tarjeta de adquisición de datos NI DAQ, es la solución que mejor se acomoda a las necesidades y requerimientos del proyecto, tanto por su costo como por su acceso a la información, que termina facilitando el desarrollo y el procesamiento necesario para este proyecto y una protección combinada, para cumplir con el requerimiento que se encuentra en la lista de necesidades.

3.4 DISEÑO DE DETALLE

Para el diseño del dispositivo se tiene en cuenta principalmente la adquisición de la señal debido a que esto es lo que permitirá reconstruir y analizar correctamente la señal digitalizada y además procesarla para realizar las comparaciones necesarias para este trabajo.

A continuación, se evidencia las conexiones e interacciones entre los dispositivos electrónicos, desde la etapa de adquisición mediante un dispositivo DAQ la cual recibe la señal analógica de voltaje proporcionada por el micrófono, pasando por el procesamiento de las señales usando un computador portátil y el software LabVIEW, hasta el circuito IoT que permite enviar datos a la plataforma Ubidots en donde se visualizan de manera dinámica he interactiva.

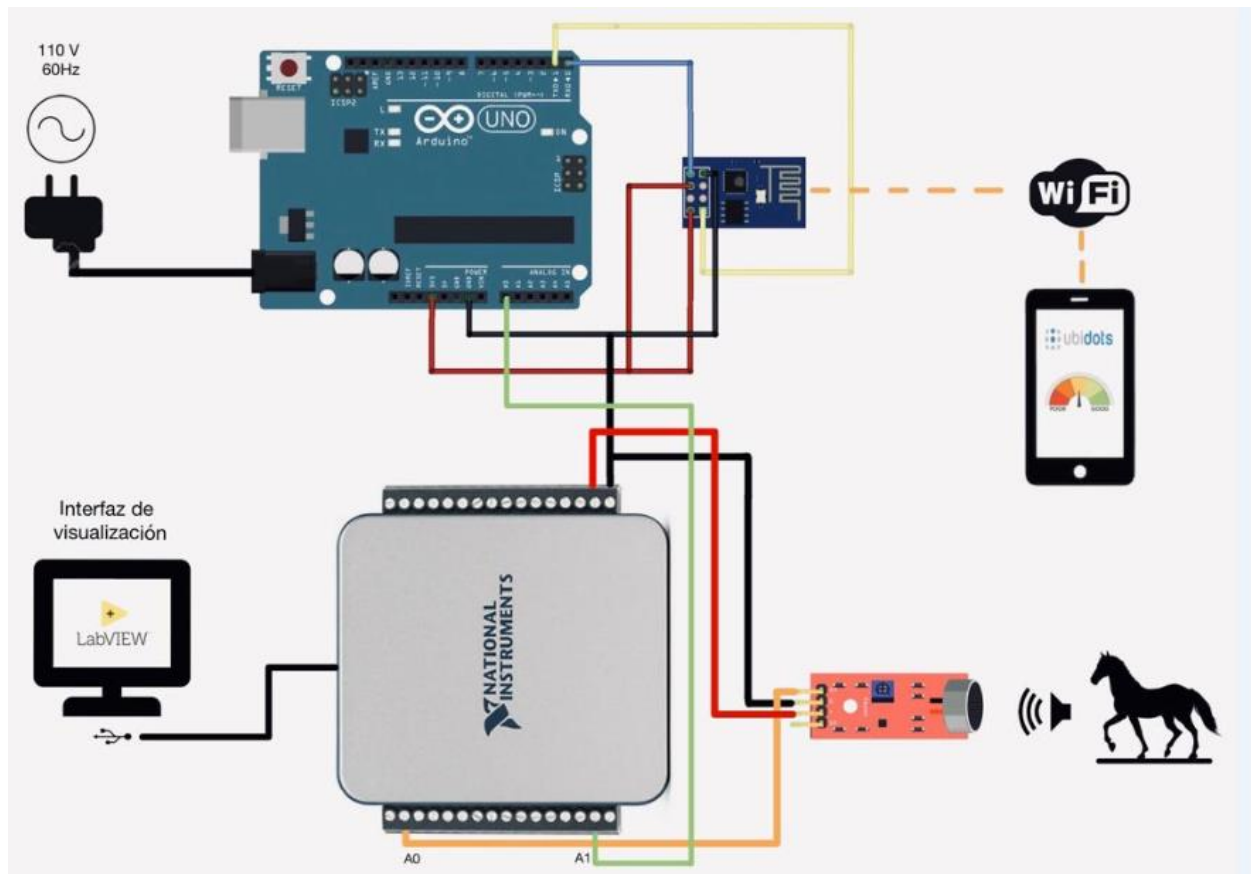


Figura 18. Integración del sistema de adquisición

En esta integración se observa que el micrófono definido va conectado directamente a la tarjeta de adquisición de datos debido a que este cuenta con un circuito integrado que incluye un pasa bajas y una ganancia.

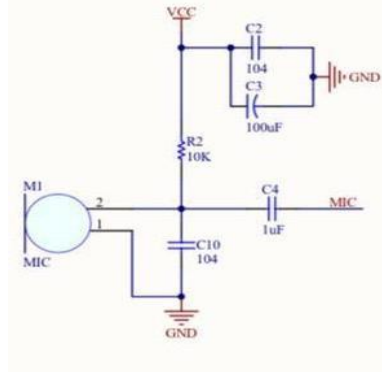


Figura 19. Circuito del micrófono.

3.4.1 Programación de la tarjeta NI DAQMX

Para la programación de la DAQ MX se hizo uso del programa LabVIEW, aquí se realizó el desarrollo de un programa secuencial, es decir, por etapas. A continuación, se mostrará el código y la descripción de cada una.

Etapas 1: Adquisición de la señal de audio.

En la primera parte de esta etapa se configura la conexión de la DAQ mx, se da la instrucción de que va a adquirir una señal analógica por un canal definido, luego de adquirir la señal esta pasa por un filtro pasa bandas para tratar de eliminar el ruido externo como: respiración del caballo, voz de personas etc. Las frecuencias utilizadas fueron encontradas después de haber hecho un proceso de adquisición y filtrado previo hasta lograr obtener el mejor resultado, es decir, una señal limpia, esto debido a que no está definida teóricamente, sin embargo, sus componentes frecuenciales están en el rango audible.

Posterior al filtrado, la señal entra a un ciclo para tomar cada componente de la misma y transformarla en un paquete de datos con terminación .wav, debido a que esta es la que utiliza LabVIEW para el procesamiento dentro del programa, este formato se utiliza principalmente con el formato PCM (no comprimido) y, al no tener pérdida de calidad, es adecuado para uso profesional.(López, sf)

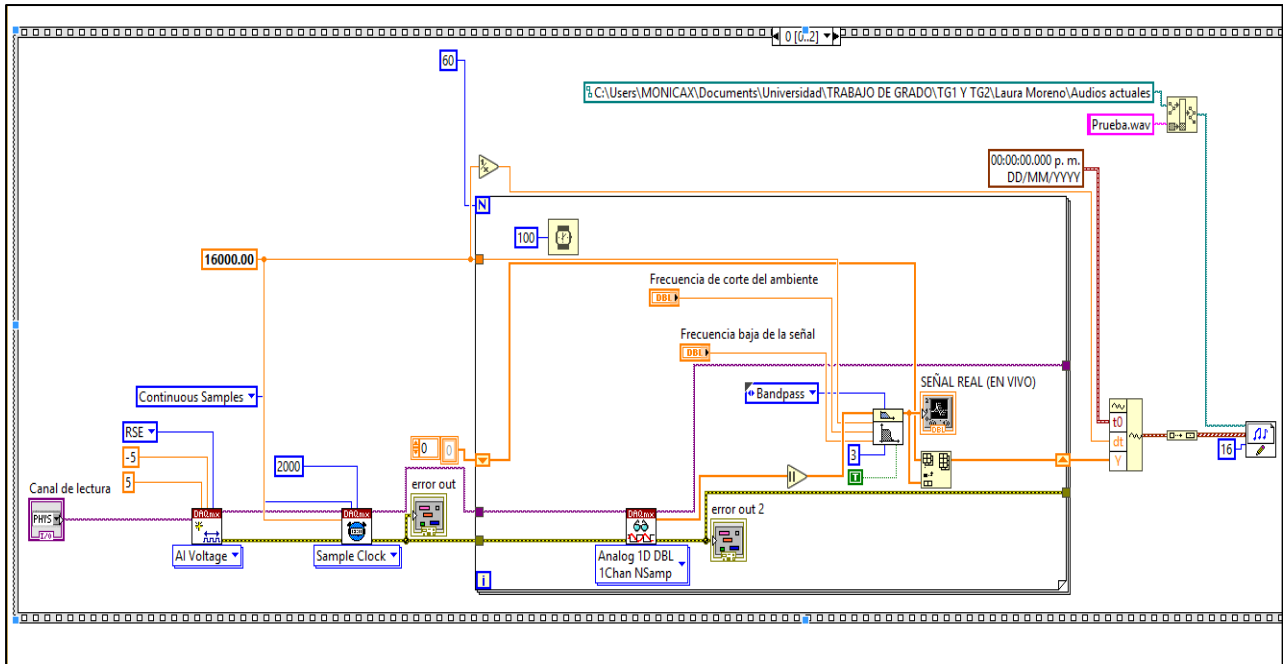


Figura 20. Programación etapa 1

Etapa 2: Comparación de señales

En esta etapa se encuentra el enrutamiento de la señal ideal y el de la señal acabada de adquirir donde ambas pasaran por un proceso de transformación rápida de Fourier el cual permite analizar los componentes de frecuencia de cada señal, posteriormente de este proceso ambas señales entran para hacer una comparación de correlación cruzada, de esta se puede concluir la medida de la similitud entre dos señales, frecuentemente esta es usada para encontrar características relevantes en una señal desconocida por medio de la comparación con otra que sí se conoce. (Guevara, 2014).

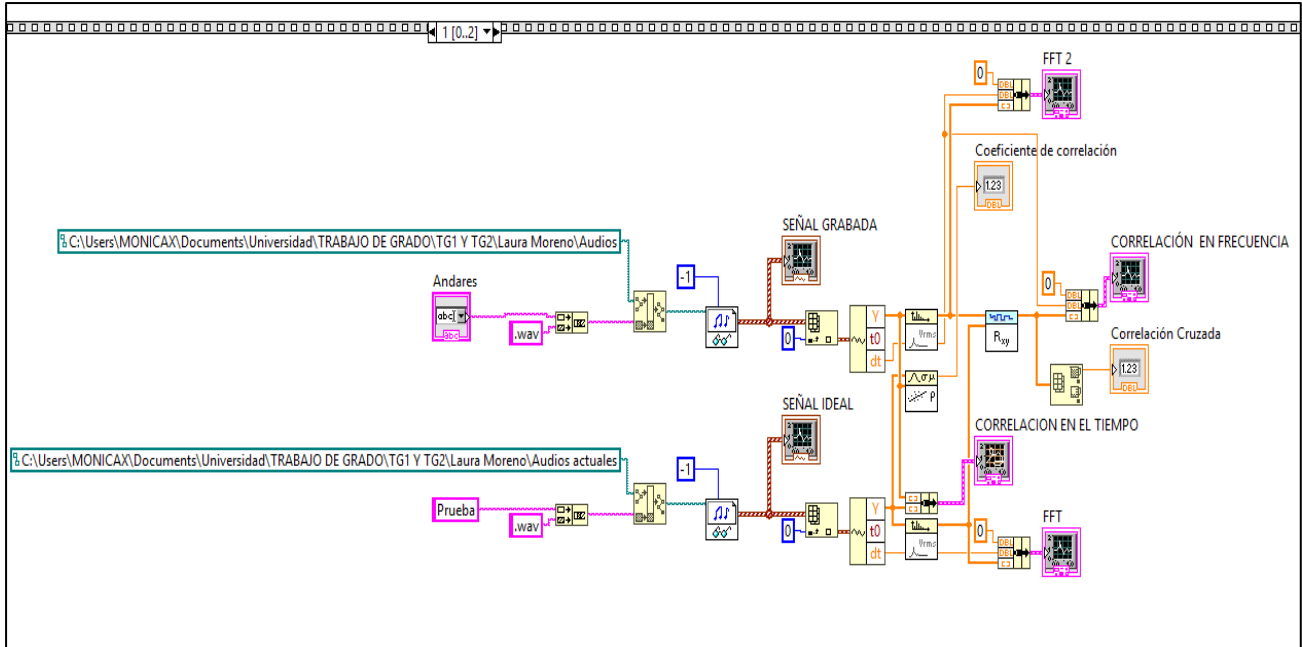


Figura 21. Programación etapa 2

Etap 3: Visualización

Posteriormente se toman los datos de las correlaciones y se le aplica la conversión necesaria para que de acuerdo con el porcentaje obtenido se produzca una señal analógica de voltaje que va a ser enviada por un canal de salida de la NI DAQ; este es tomado por un Arduino para ser tratado y enviado a un módulo de wi-fi esp8266 por un canal serial y luego este se encargará de mandarlo a la nube.

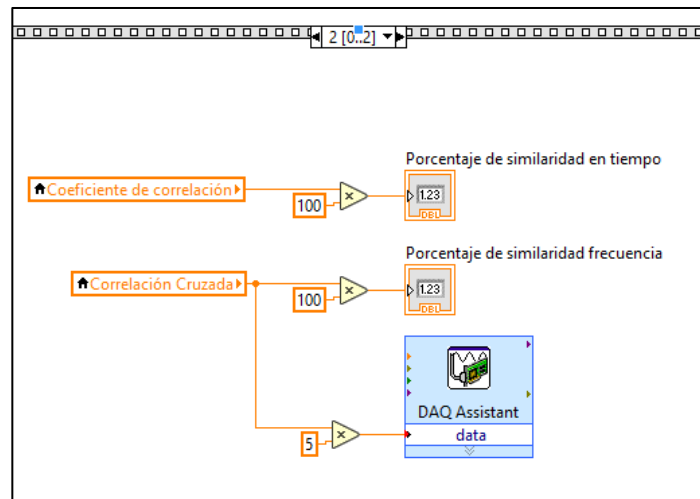


Figura 22. Programación etapa 3

Etapa 4: Interfaz grafica

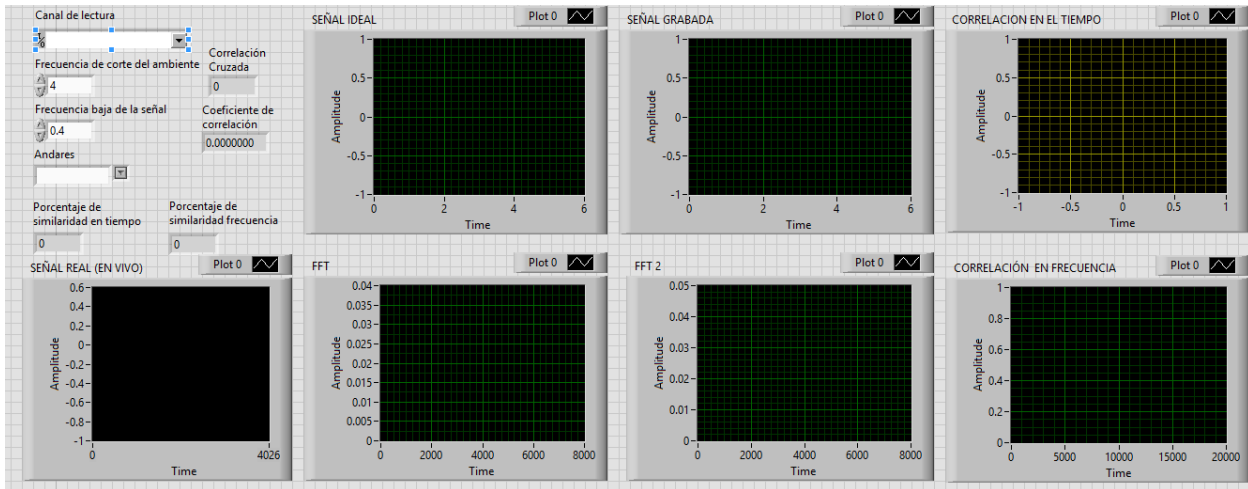


Figura 23. Interfaz gráfica

En esta etapa encontramos dos comboBox los cuales se encargan de selección el canal de lectura de la DAQ y el tipo de andar que será comprado, también hay dos controles para colocar manualmente las frecuencias de corte del filtro pasa bajas que son utilizadas con el fin de eliminar el ruido externo, luego vemos los indicadores de similitudes y correlaciones en porcentaje, los waveform nos muestran los componentes de ambas señales en el dominio del tiempo (ideal , la grabada y señal en vivo), también se puede visualizar los componentes de la frecuencia después de la FFT (transformada rápida de Fourier) y además la correlación en el tiempo y la cruzada.

3.4.2 Programación etapa IoT

Con el fin de transmitir los datos de manera inalámbrica a una plataforma en la nube, se utilizó un sistema IoT, compuesto por un circuito en donde un Arduino Uno está adquiriendo constantemente una variable analógica generada por la tarjeta DAQ (señal variable entre 0V y 5V para representar el porcentaje de similitud del paso entre la señal actual y la pregrabada, de acuerdo a este voltaje que sale se realiza una proporción con los valores de 0% a 100%, con la ecuación que se muestra en la figura 22), esta variable es enviada mediante comunicación serial a un módulo WIFI ESP8266. Este módulo está conectado a una red WIFI predeterminada y envía datos constantemente a un visualizador desarrollado en la herramienta online Ubidots. Se hizo de esta manera ya que tarjeta de adquisición DAQ no cuenta con un puerto de comunicaciones ni inalámbrico ni alámbrico para enviar los datos a la nube por esto fue necesario utilizar un sistema intermedio para extraer la información de la DAQ a la nube y que esta sea visible para todos los participantes de los campeonatos, ferias o criaderos.

A continuación, se muestra el circuito tanto lógico como de potencia encargado de la etapa de IoT.

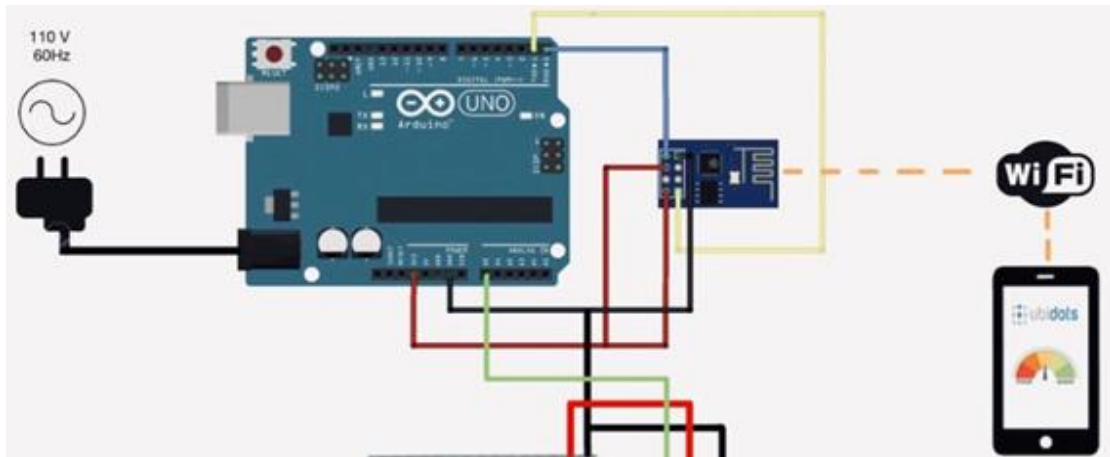


Figura 24. Circuito Wi- Fi

Dentro de la plataforma Ubidots se realizó la configuración del respectivo Token de conexión entre el módulo WIFI y la página en donde se muestran los datos. En la siguiente imagen se evidencia el registro de la conexión y transmisión de datos en la página.

Filter by: All organizations		Sort by: Name		Se	
Devices					
<input type="checkbox"/>	NAME		LAST ACTIVITY	CREATED AT ↓	ORGANIZATION
<input checked="" type="checkbox"/>	ESP8266	●	21 hours ago	2019-10-15 18:35:52 -...	---
<input checked="" type="checkbox"/>	Demo	●	No last activity	2019-10-14 12:25:09 -...	---
<input checked="" type="checkbox"/>	Demo	●	No last activity	2019-10-14 12:25:09 -...	---
<input checked="" type="checkbox"/>	Demo	●	No last activity	2019-10-14 12:25:06 -...	---

ROWS PER PAGE 30

Figura 25. Conexión plataforma Ubidots

Luego de establecer la conexión entre el módulo Wifi y la plataforma Ubidots, la variable de interés enviada fue programada y se asignó un indicador gráfico para representarla. A continuación, se evidencia la plataforma y la representación de la variable enviada por el circuito IoT.

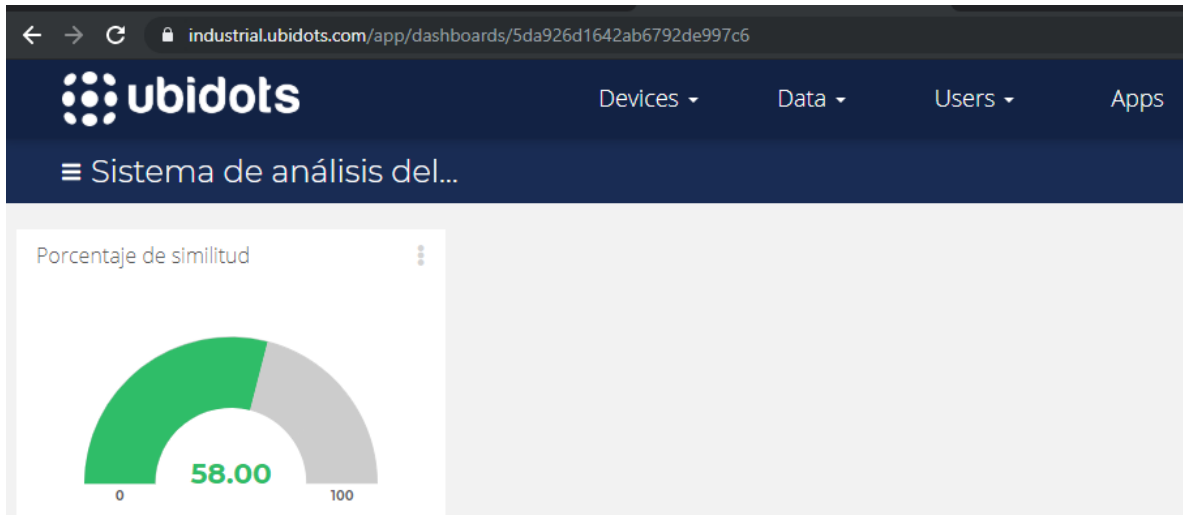


Figura 26. Visualización plataforma Ubidots

El módulo Wifi ESP8266 tiene un microcontrolador interno que puede funcionar de dos formas, mediante comandos AT o por medio de un lenguaje de alto nivel como Arduino. En este caso se utilizó el segundo método para efectuar la programación. En dicho código se utilizaron librerías libres preprogramadas para dicho módulo, además se configura una red específica a la que se conectará por defecto el módulo, por último, se programa la transmisión serial.

```
#include "UbidotsMicroESP8266.h"

#define TOKEN "BBFF-HgPX6px2AfbBYXTPxAO76Xohm84tTV" // Poner aqui tu TOKEN general de Ubidots
#define WIFISSID "juan" // Poner aqui el nombre de tu Wi-Fi
#define PASSWORD "jebd2951" // Poner aqui la clave de tu Wi-Fi

Ubidots client(TOKEN);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  client.wifiConnection(WIFISSID, PASSWORD);
}

void loop() {
  float value1 = Serial.read();
  client.add("Variable1", value1);
  client.sendAll(true);
  delay(2000);
}
```

Figura 27. Configuración y declaración de variables

La conexión entre el dispositivo DAQ y el módulo Wifi se realiza mediante un Arduino uno, el cual está programado para que adquiera la señal analógica de voltaje enviada por la DAQ de 0V a 5V, en donde 0V sería equivalente a 0% de similitud y 5V sería equivalente a 100% de similitud entre señales comparadas referente al porcentaje de similitud entre las señales que se están comparando (señal pregrabada vs señal actual). La DAQ está entregando un voltaje de. Para esto se adquiere la variable y se multiplica por una constante. Por último la señal transformada es escrita en el puerto serial para que el módulo Wifi se encargue de enviar dicho dato.

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  Serial.write(20*(analogRead(0)));
  delay(30);
}

```

Figura 28. Conversión de la señal analógica

3.5 DISEÑO MECÁNICO:

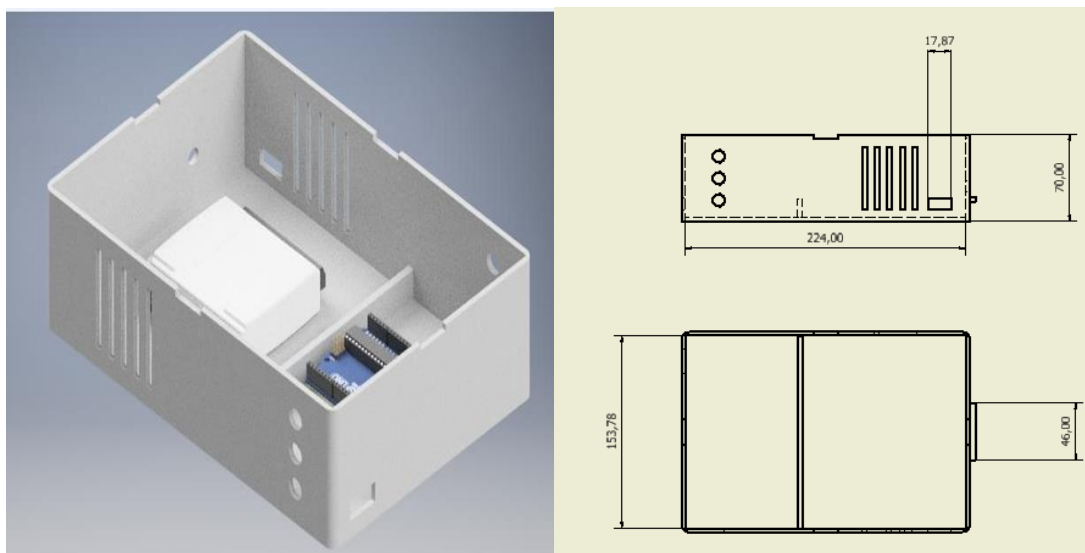


Figura 29. Diseño mecánico

Con el fin de proteger los dispositivos de adquisición y transmisión de datos de todos los posibles factores medio ambientales a los que se está expuesto en el mundo de competencia y entrenamiento equino, se desarrolló un prototipo o estructura de protección y organización de sistemas electrónicos. Para dicho artefacto se utilizaron procesos de manufactura aditiva (impresión 3D) y diseño asistido por computador (CAD). En cuanto al dispositivo 3D utilizado, se usó una impresora Stratasys F170, la cual permite una precisión y acabado un acabado superficial sin enmendaduras (pegamentos, rellenos de otro material, etc) . El modelo 3D fue diseñado en el software de CAD inventor, en el cual se tuvieron en cuenta las medidas de los dispositivos internos y la distribución de estos. La carcasa de protección fue construida en ABS con un espesor entre capa y capa de 0.254 mm, un material resistente que brinda protección general al sistema. La estructura posee agujeros de ventilación, con el fin de mantener los componentes electrónicos a una temperatura adecuada. Además, se cuenta con agujeros especiales para extraer cables de conexión que van a fuentes externas o trasferencia de información. Por último, la carcasa de protección cuenta con una compuerta en acrílico en la parte superior, la cual no solo le da un buen aspecto, sino que también permite proteger la parte superior y mantener el sistema sellado.

3.6 PRUEBAS Y REFINAMIENTO

Las pruebas se realizaron de la siguiente manera:

Para la categoría de trocha se utilizó una yegua promedio en proceso de entrenamiento, a la cual se le tomaron muestras para comparar entre ellas debido a que al momento de competir solamente son calificadas dos pasadas reglamentarias por la pista se decidió realizar el doble (cuatro pasadas) buscando un mejor análisis de sonido y los resultados obtenidos fueron:

Categoría Trocha

Recorrido en pista 1:

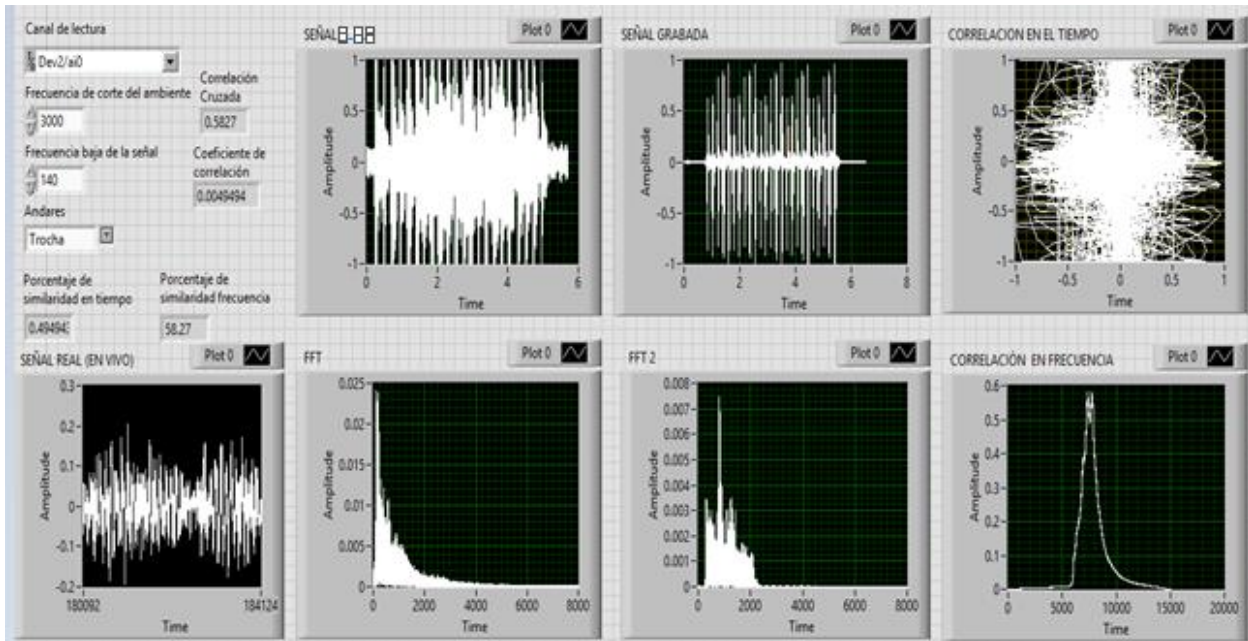


Figura 30. Resultados en pista 1

En este se logra observar que en comparación con la señal ideal pregrabada esta se acerca en un 58.2% en sus componentes de frecuencia y un 0.40% en el tiempo.



Figura 31. Resultados en Ubidots 1

Tabla 8. Resumen de resultados

Recorrido en pista	Resultados porcentaje de similitud en frecuencia	Resultados en Ubidots	Anexos
2	58.1%	58%	Figura 1-2.
3	57.96%	57%	Figura 3-4.
4	58.16%	58%	Figura 5-6.

Después de realizar estas pruebas, se sometieron los audios ideales a discusión con personas que tienen un recorrido largo de experiencia en el gremio equino y entrenamiento de estos para pista en cuestión de sonido de las cuales se obtuvieron las siguientes opiniones:

Antonio Jesús Berrío Taborda, 45 años en el mundo equino: “Sobre la trocha suena un cambio de paso, el ejemplar se enreda y se descompensa lo que ocasiona que se salga del paso y en el galope se marca bien el paso, pero se podría mejorar la velocidad de ejecución”.

Cristian Delgado, 15 años en el gremio equino “En la trocha se escucha continuidad, pero el ejemplar podría decirse que no es sobre sale por encima de otros ejemplares, es decir, le falta entrenamiento”.

Debido a esto se consideró importante repetir los audios ideales por lo que se grabó esta vez a los más recientes grandes campeones en estas categorías, estos son:

Impacto del cedro (Prodigio de maría rosa X Pocahontas) GRAN CAMPEON RESERVADO TROCHA Y GALOPE

Soberbio (Resplandor X La fuga) GRAN CAMPEON RESERVADO TROTE Y GALOPE

Como estos ejemplares son los grandes campeones su señal pasa a ser la ideal, se comparan contra ellos mismos para mirar que variación tenían cada que realizaban un recorrido.

- Trocha

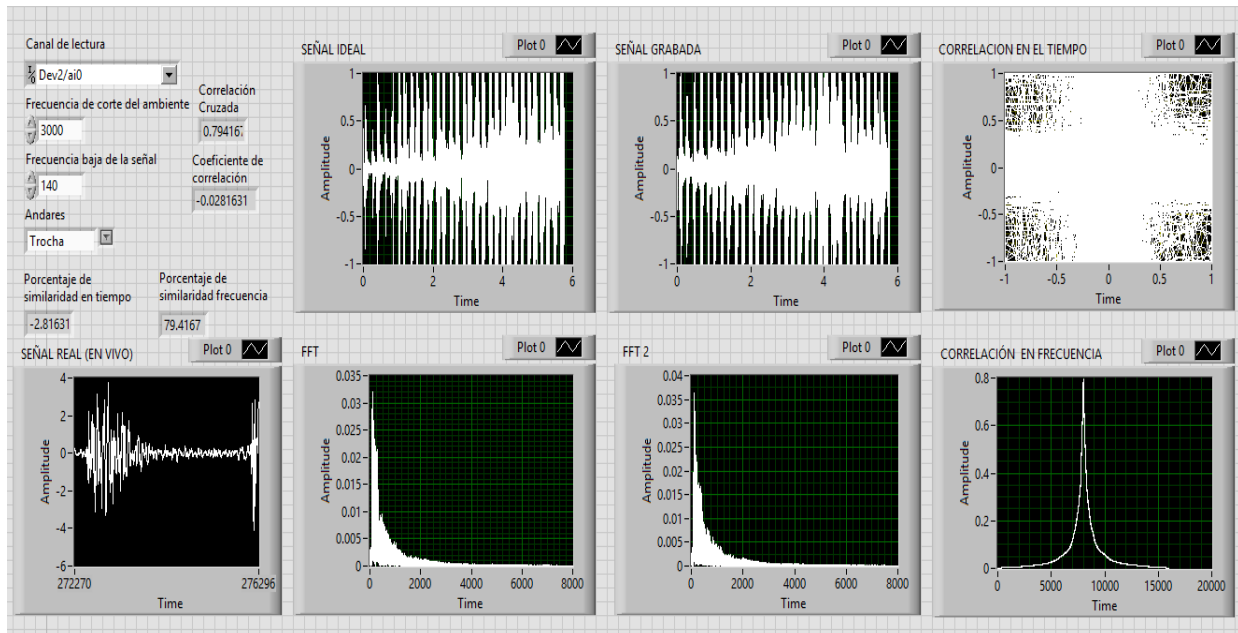


Figura 32. Resultados 2 en pista 1



Figura 33. Resultados 2 en Ubidots

Tabla 9. Resumen de resultados 2

Recorrido en pista	Resultados porcentaje de similitud en frecuencia	Resultados en Ubidots	Anexos	Categoría
2	78.7%	78%	Figura 7-8	Trocha
3	79.7%	79%	Figura 9-10	Galope
4	80.7%	80%	Figura 11-12	Galope
5	79.28%	79%	Figura 13-14	Trote
6	79.8%	79%	Figura 15-16	Trote
7	80.0%	80%	Figura 17-18	Galope
8	80.0%	80%	Figura 19-20	Galope

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Para ambos ejemplares declarados como gran campeón en su respectiva categoría de trocha y galope y trote y galope, se observa que para cada pasada se mantenía constante el porcentaje entre 78%-80% como se estaba comparando contra el mismo se tendría que decir que debería de ser un 100% pero se concluye que cada pasada el ejemplar disminuía un poco su explosividad y continuidad debido a que este se iba cansando y además llevaba muy poco tiempo de descanso desde competencia, es decir, había sido exigido en un corto lapso de tiempo antes de realizarle pruebas con el dispositivo.

También se notó que se mantenía en un porcentaje, quería decir que su entrenamiento había sido bueno porque, aunque hubiera disminuido un poco en comparación con la primera pasada, o sea, la ideal este estaba ubicado en casi siempre por encima de un 80%.

Como comparten un andar (Galope) se compararon y se acercan en un 80%, colocando el ejemplar de trocha y galope como el ideal, para esto se hizo uso de la opinión de las personas expertas que han estado acompañando todo el desarrollo ante este proyecto; este porcentaje indica que Soberbio está a un 20% de conseguir el mismo andar que Impacto.

En cuanto al análisis de la frecuencia de interés, estas fueron encontradas de manera experimental, debido a que como se ha explicado anteriormente la calificación y análisis del paso equino depende netamente de la audición entrenada de un jurado experimentado. Usando el software Audacity logramos filtrar la señal previamente adquirida en campo y llegamos a la conclusión que el rango de frecuencias que mejor se adaptada y determinaban el comportamiento de tres pasos equinos analizados en este informe estaba entre 140Hz – 3000Hz. Todo esto se logró junto con personas expertas en el gremio equino y dicho rango permite eliminar componentes de ruido en general, la respiración del ejemplar y el sonido del equipamiento que lleva el caballo puesto.

Dentro de la etapa de IoT , luego de analizar múltiples plataformas de visualización se llegó a la conclusión de que Ubidots permite verificar el concepto de IoT de manera sencilla, rápida, eficaz y sin presentar errores. Todo esto combinado con el circuito IoT planteado, permite hacer seguimiento de manera remota a la variable de interés que se tenía como objetivo (porcentaje de similitud entre la señal pregrabada y la señal del ejemplar que estaba pasando actualmente por la pista de resonancia).

Después de analizar los resultados de la variable que representa el porcentaje de similitud entre señales, se evidencia que los porcentajes que están por encima del 80% representan una similitud muy buena. La tolerancia de la medición puede variar un poco debido a que se tienen factores ambientales (exceso de ruido), ruido electrónico, pérdida de datos debido a la frecuencia de muestreo de la DAQ, aproximaciones realizadas por los algoritmos de la FFT, entre otros factores que pueden afectar un poco la medición y la comparación de señales.

5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Con las pruebas que se realizaron en primer lugar de la categoría de trocha se puede observar que en las cuatro el coeficiente de correlación cruzada oscila entre el 57% y el 58% lo que lleva a concluir que el dispositivo tiene una buena repetibilidad en los resultados, además de los dos andares que estaban sugeridos en los objetivos se alcanzó a caracterizar y hacer pruebas con un andar más (Trote) también obteniendo una repetibilidad de resultados y un buen porcentaje de comparación.

Se Concluye que es un producto de alto impacto para el gremio equino al momento de comprar o vender un ejemplar porque este dispositivo permite cuantificar el paso y así asegurarle a un comprador que el caballo ha tenido buenos resultados o va por un buen camino; también para registrar mejoras continuas en los entrenamientos de estos.

Dentro del rúbrica o reglamento de la competencia de paso equino se tienen especificadas las reglas que determinan la perfección de un paso en el momento de la competencia o en el entrenamiento, como ya se había explicado anteriormente, el uso de dicho reglamento es aplicado por personas que tienen una audición entrenada para determinar la precisión y buen ritmo del ejemplar que este presentándose, por lo tanto, el veredicto del juez puede tener un factor subjetivo implicado. Mediante este trabajo se logró volver un método de calificación potencialmente objetivo, un método más estándar y fiable no solo a la hora de una competencia, sino a la hora de hacer una trazabilidad de un ejemplar determinado en su entrenamiento día a día.

En cuanto a la etapa técnica del trajo se logró identificar que para realizar comparaciones entre el audio de un ejemplar pregrabado y uno actual, la correlación en el dominio del tiempo depende de variables latentes, las cuales son muy difíciles de controlar. Un ejemplo muy claro de dichas variables sería el garantizar la coincidencia del inicio y el fin del audio para que la comparación y la correlación sean efectivas y fiables. Teniendo en cuenta todo esto, se puede afirmar que la comparación entre señales debe efectuarse en el dominio de la frecuencia, para que el resultado de similitud dependa de componentes de frecuencia específicas y determinadas con anterioridad a la comparación (filtrado y acondicionamiento previo de la señal pregrabada).

Después de realizar los análisis de los resultados, entrar a aplicar los conceptos y validarlos, se corroboró la importancia y la necesidad de un dispositivo electrónico en el gremio equino que ayude a jurados y entrenadores a estandarizar procesos de análisis de audio.

La velocidad de procesamiento del computador juega un factor clave a la hora de realizar la comparación entre señales, debido a que para efectuarla las señales tuvieron que pasar por transformaciones, filtrados digitales y operaciones matemáticas generales, además de la representación en tiempo real de gráficos e indicadores que muestran las variables y operaciones de interés.

Para desarrollos futuros se puede hacer uso de un sub vi de LabView que permite la conexión con la nube directamente, además se recomienda utilizar un circuito adicional para pre acondicionar los datos antes de procesarlos con el fin de evitar señales alias.

6. REFERENCIAS

- Ministerio de agricultura. 2014. Ministerio de agricultura y desarrollo rural cadena equina, asnal y mular. Recuperado el día 16 de agosto de 2018, disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Equino/Documentos/005%20-%20Documentos%20T%C3%A9cnicos/Diagnostico%20Cadena%20Equina,%20Asnal%20y%20Mular.pdf>
- Quintic sports.2018. Recuperado el día 10 de agosto de 201 disponible en: <https://www.quinticsports.com/software/>
- Angel, J. G. 2015. Aprenda la diferencia entre el paso Trote y Galope de los Caballos-TvAgro. Recuperado el día 10 de agosto de 201 disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=gV4by6z1ekQ&feature=youtu.be>
- Confepaso. 2014. Reglamento de amazonas y jinetes en equitacion. Pereira. Colombia. Recuperado el 23 de agosto de 2018, disponible en: <http://www.confepaso.net/wp-content/uploads/Reglamento-en-Equitacio%CC%81n-Pagina-web.pdf>
- Tecnología mexicana. 2017. Laboratorio de analisis de movimiento. Palenque. Mexico. Recuperado el 23 de agosto de 2018, disponible en: <https://www.tecnologicamexicana.com.mx/especialidades/analisis-biomecanico/analisisdemovimiento/>
- Catell, F. 2014. Operación y Transformación de Señales. Recuperado el 23 de agosto de 2018, disponible en: <http://www.unet.edu.ve/aula10c/Asenales/Unid01/Oper.htm>
- Ulrich, K. T. y Eppinger, S. D. 2004. Diseño y desarrollo de productos. México: McGrawHill.
- Roldan, A. 2000. Los micrófonos en acústica. Recuperado el 3 de Abril de 2019, disponible en: http://electronica.ugr.es/~amroldan/noticias/microfonos_en_acustica.pdf
- Iac. 2018. ¿Qué es IoT? Ingeniería asistida por computador. Colombia. Recuperado el dia 3 de Abril de 2019, disponible en: <https://www.iac.com.co/que-es-iot/>
- Guevara, José. 2014. Uso correcto de la correlación cruzada en Climatología: el caso de la presión atmosférica entre Taití y Darwin Terra Nueva Etapa, vol. XXX, núm. 47. Universidad central de Venezuela, Caracas. Venezuela.
- Lopez,A.sf. Ingeniería de Ondas Formatos de Audio Digital. Universidad de Valladolid.
- National Instruments.sf. Qué es Adquisición de Datos. Recuperado el día 2 de Octubre de 2019, disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

- Universidad del país Vasco, sf. Correlación cruzada y autocorrelación. Recuperado el día 5 de Octubre de 2019, disponible en: <http://www.ehu.es/Procesadodesenales/tema8/corre1.html>
- Camacho, 2012. El caballo en la historia de Colombia y el mundo. Diario La república. Bogota. Colombia. Recuperado el día 5 de Octubre de 2018, disponible en: <https://www.larepublica.co/archivo/el-caballo-en-la-historia-de-colombia-y-del-mundo-2018078>
- Manujakshi, B. C., & Ramesh, K. B. (2019). A novel experimental prototype for assessing IoT performance on real-time analytics doi:10.1007/978-3-319-91186-1_6 Recuperado el día 5 de Abril de 2018, disponible en: www.scopus.com
- Cubillos, N. (2018). Un negocio que galopa. El Colombiano. Medellín. Colombia. Recuperado el día 16 de Agosto de 2018, disponible en: <https://www.pressreader.com/colombia/el-colombiano/20180128/282518658933078>
- Hernández, M. (2017). IA observatorio. Recuperado el día 10 de agosto de 2017, Disponible en: <http://observatorio-ia.com/agricultura-de-precision-i-a>
- Vilanova, S. sf. Análisis de audio. Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado el día 10 de agosto de 2019, Disponible en: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Diseno_de_interaccion/Diseno_de_interaccion_\(Modulo_3\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Diseno_de_interaccion/Diseno_de_interaccion_(Modulo_3).pdf)
- Jmindustrial. (2019). Tarjetas de adquisición de datos. Obtenido de Tarjetas de adquisición de datos. Recuperado el día 5 de Octubre de 2019, disponible en: <https://www.jmi.com.mx/tarjetas-de-adquisicion-de-datos>
- Audio-technica. ¿Qué Hace un Micrófono?. Estados Unidos. Recuperado el día 5 de Octubre de 2019, disponible en: <https://www.audio-technica.com/cms/site/9f3f5c571dcbded8/index.html>
- Aguilar, M. A. (2009). Tarjetas Integradas: Tarjeta de Sonido (Trabajo de Arquitectura de Hardware). Obtenido de Tarjetas Integradas: Tarjeta de Sonido (Trabajo de Arquitectura de Hardware) Recuperado el día 5 de Octubre de 2019, disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos72/tarjetas-integradas-tarjetas-sonido/tarjetas-integradas-tarjetas-sonido.shtml>
- Audio-technica. Características importantes de un micrófono. Estados Unidos. Recuperado el día 5 de Octubre de 2019, disponible en: <https://www.audio-technica.com/cms/site/0065fc5a049d4f19/index.html>
- Rohrer, S. sf. Taller de micrófonos. Micrófono de contacto. Recuperado el día 5 de Noviembre de 2019, disponible en: http://www.sondames.org/?page_id=1386

7. ANEXOS

- Trocha

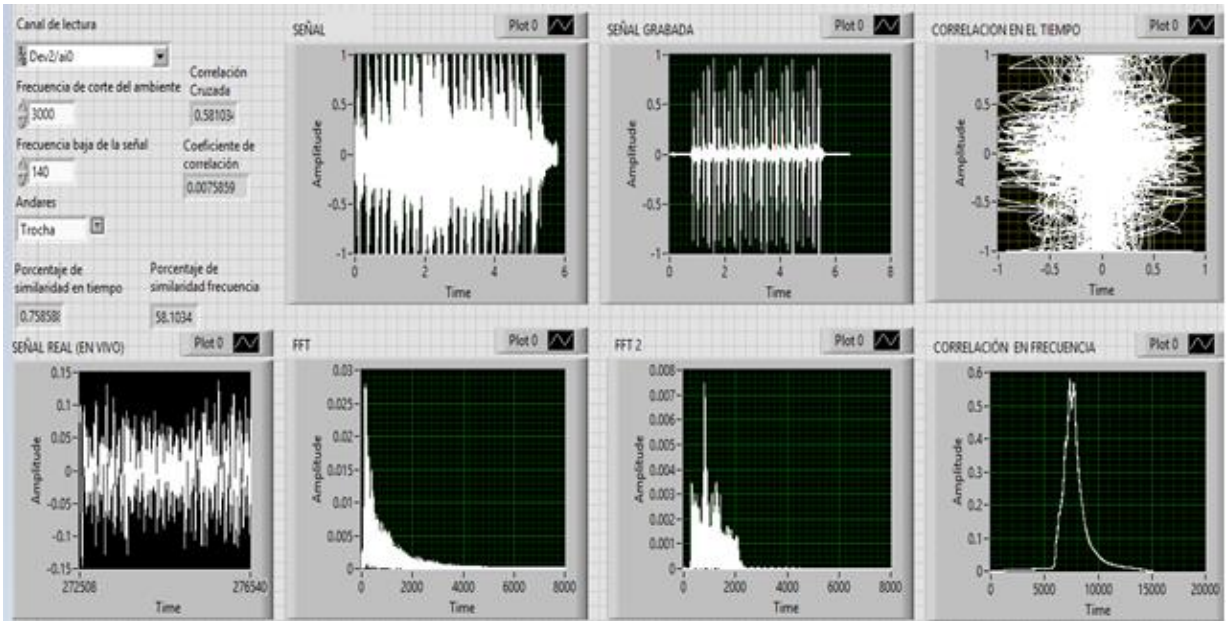


Figura 1. Resultados en pista 2



Figura 2. Resultados en Ubidots 2

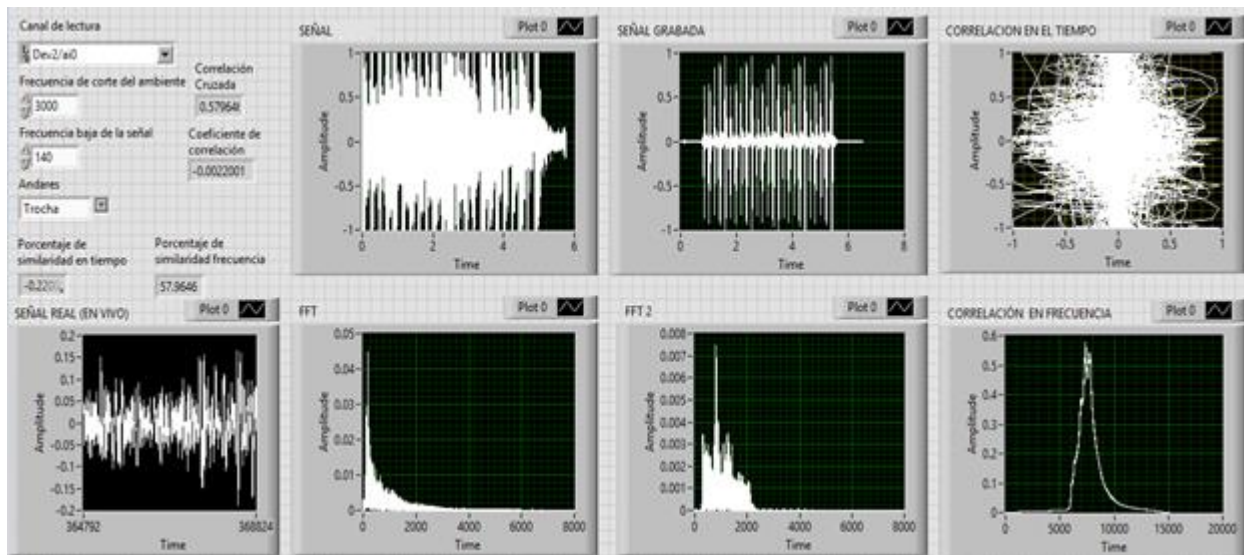


Figura 3. Resultados en pista 3

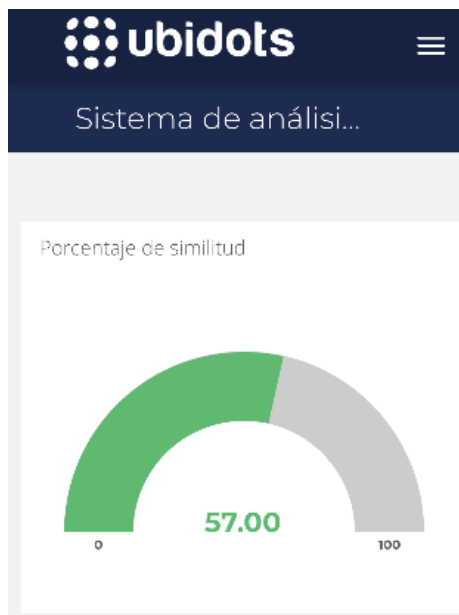


Figura 4. Resultados en Ubidots 3

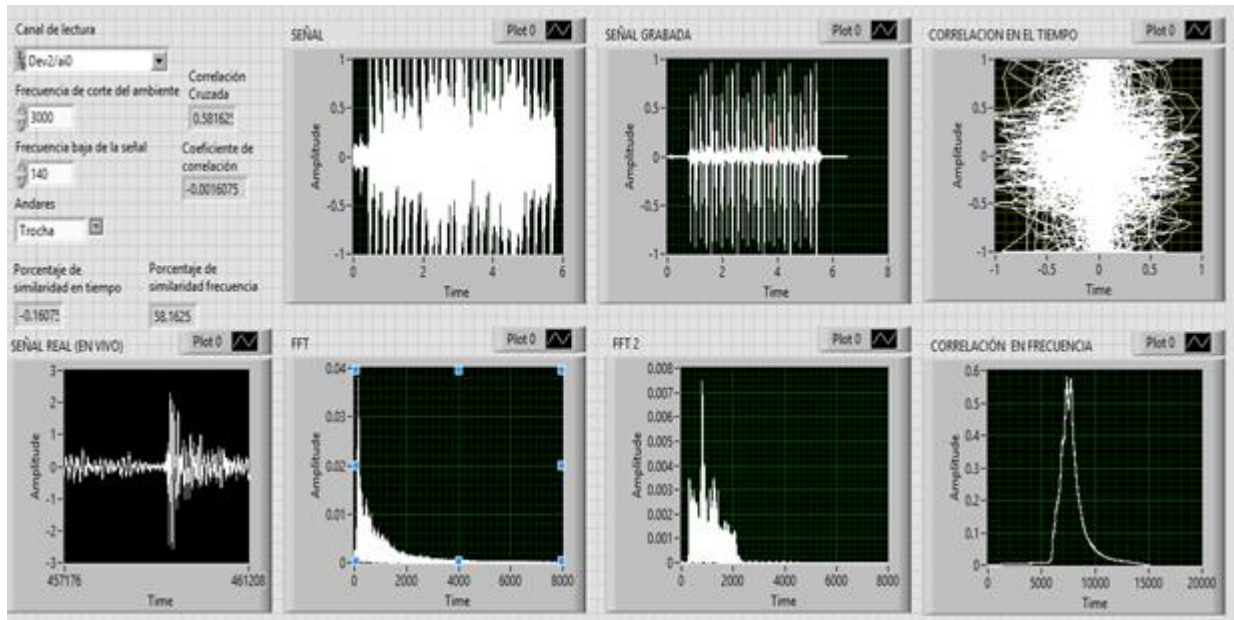


Figura 5. Resultados en pista 4

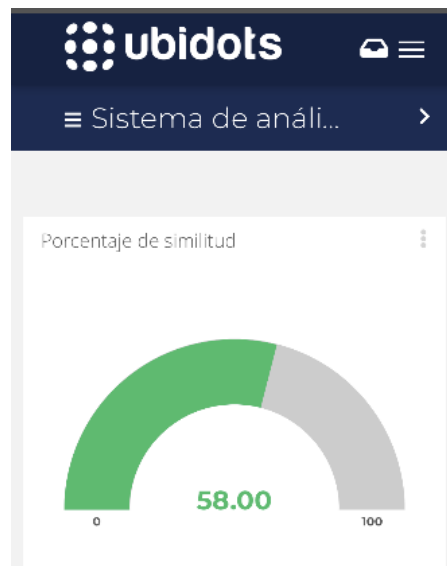


Figura 6. Resultados en Ubidots 4

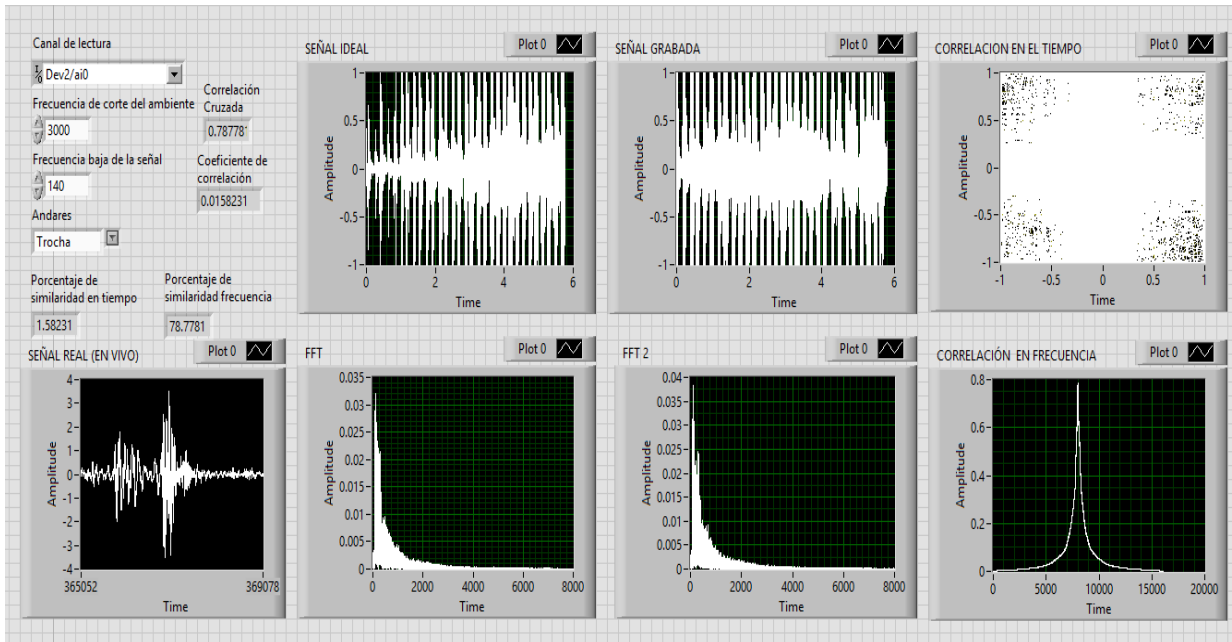


Figura 7. Resultados 2 en pista 2



Figura 8. Resultados 2 en Ubidots 2

- Galope

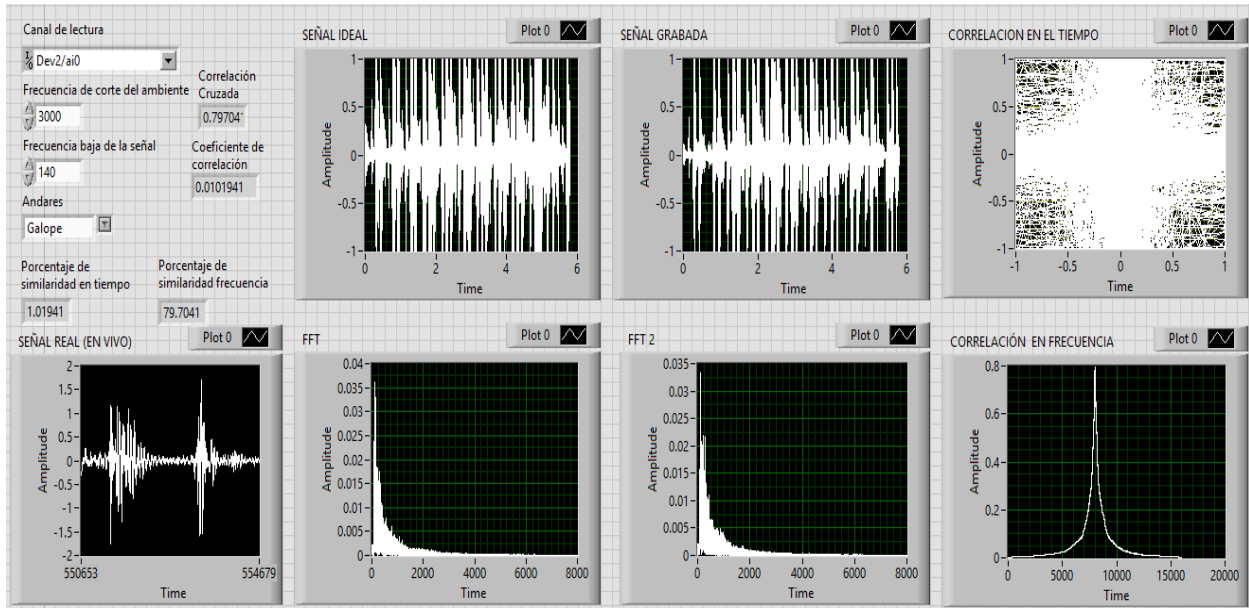


Figura 9. Resultados 2 en pista 3



Figura 10. Resultados 2 en Ubidots 3

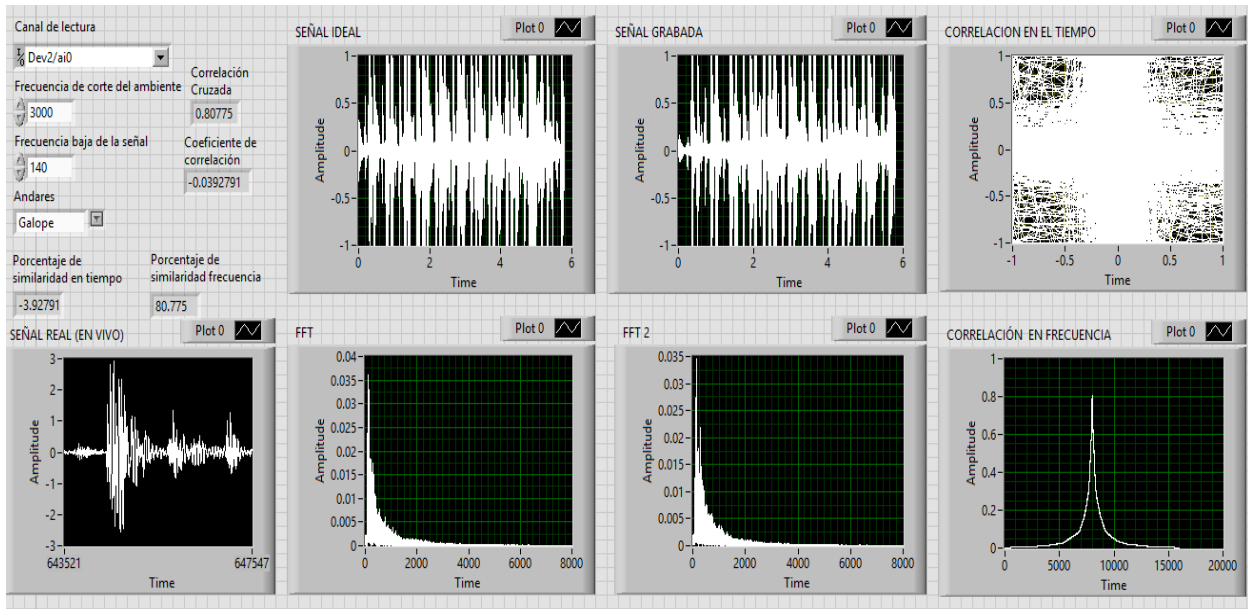


Figura 11. Resultados 2 en pista 4



Figura 12. Resultados 2 en Ubidots 4

- Trote

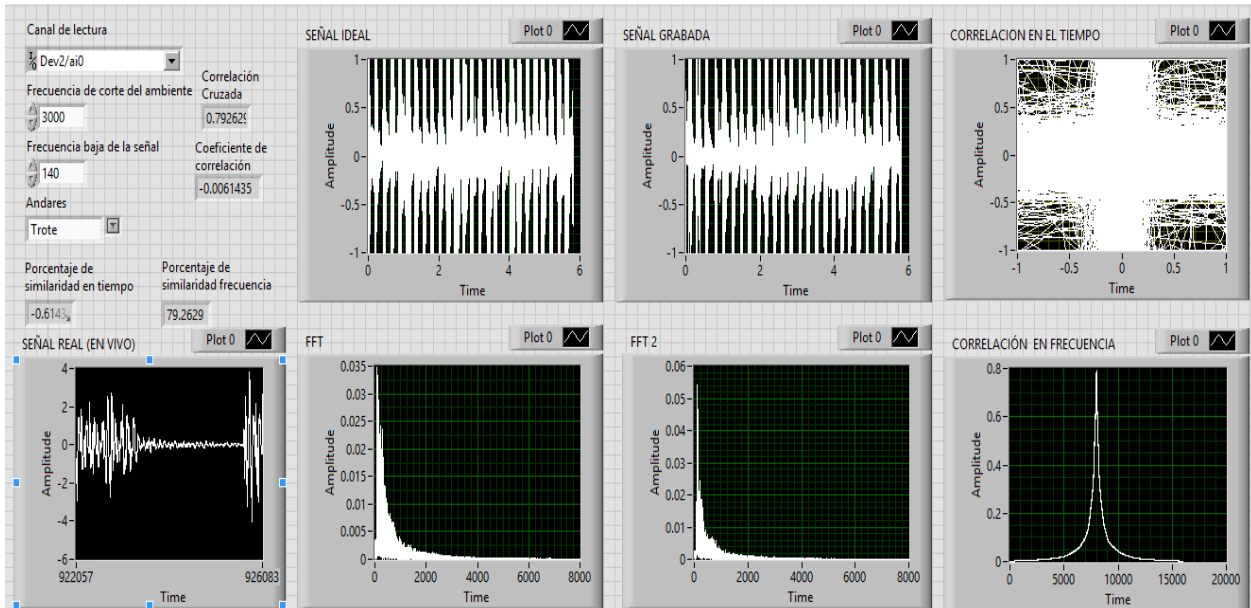


Figura 13. Resultados 2 en pista 5



Figura 14. Resultados 2 en Ubidots 5

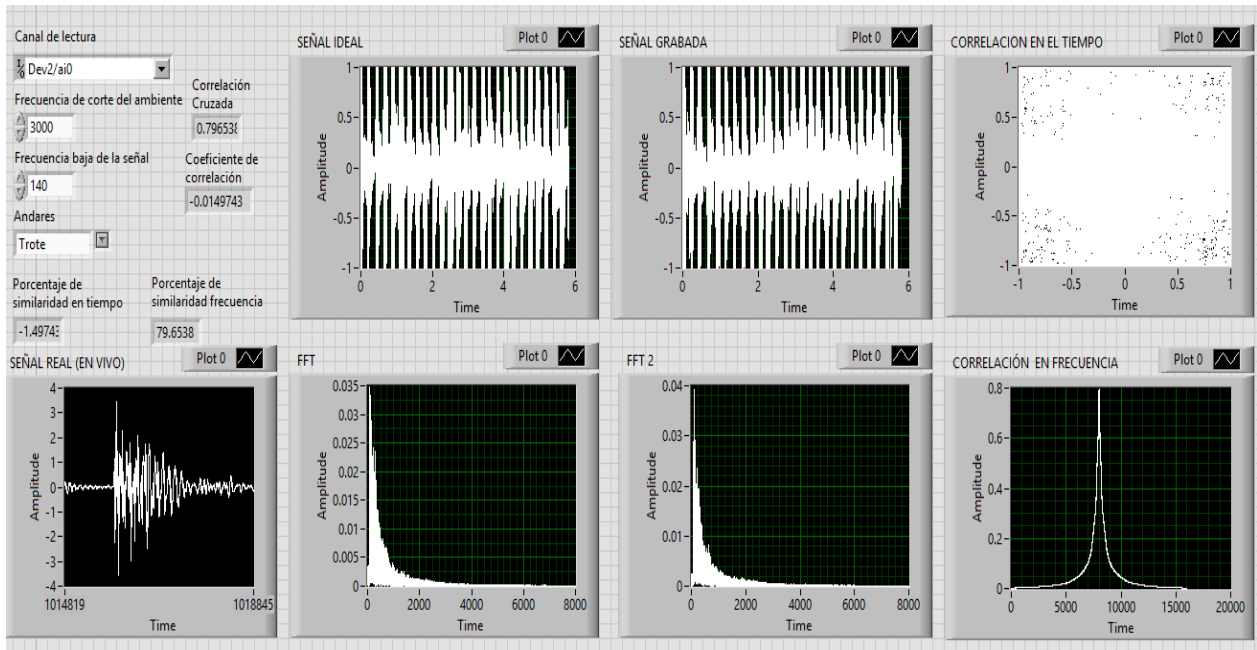


Figura 15. Resultados 2 en pista 6



Figura 16. Resultados 2 en Ubidots 6

- Galope

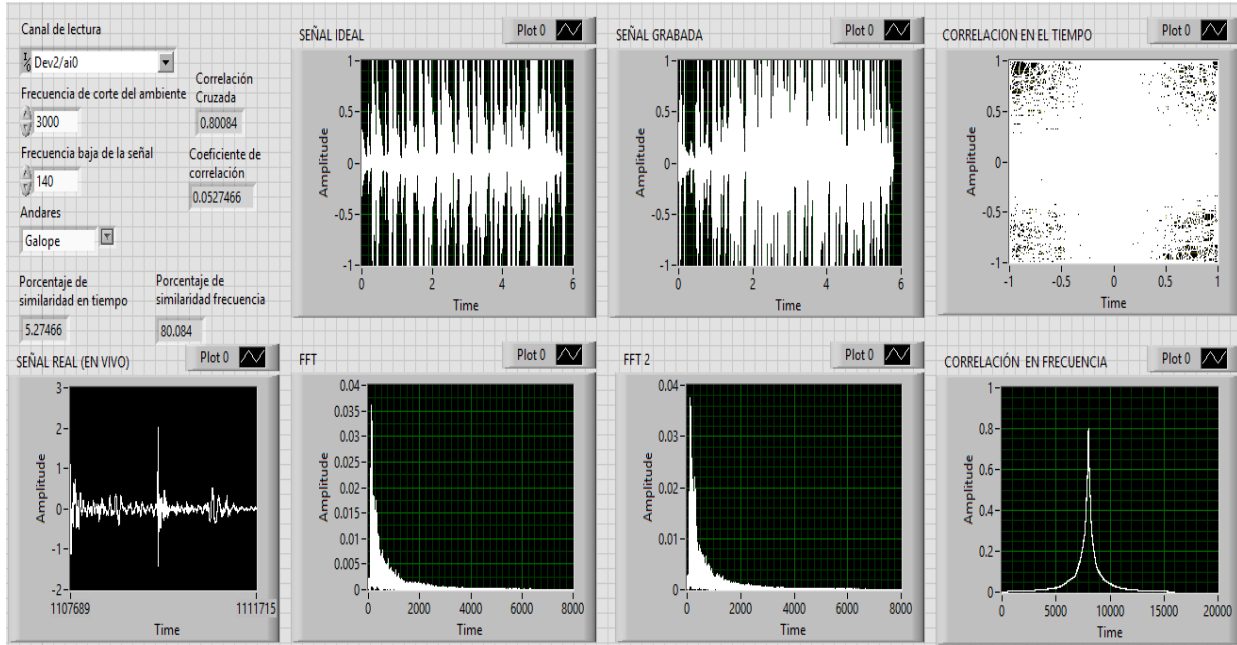


Figura 17. Resultados 2 en pista 7



Figura 18. Resultados 2 en Ubidots 7

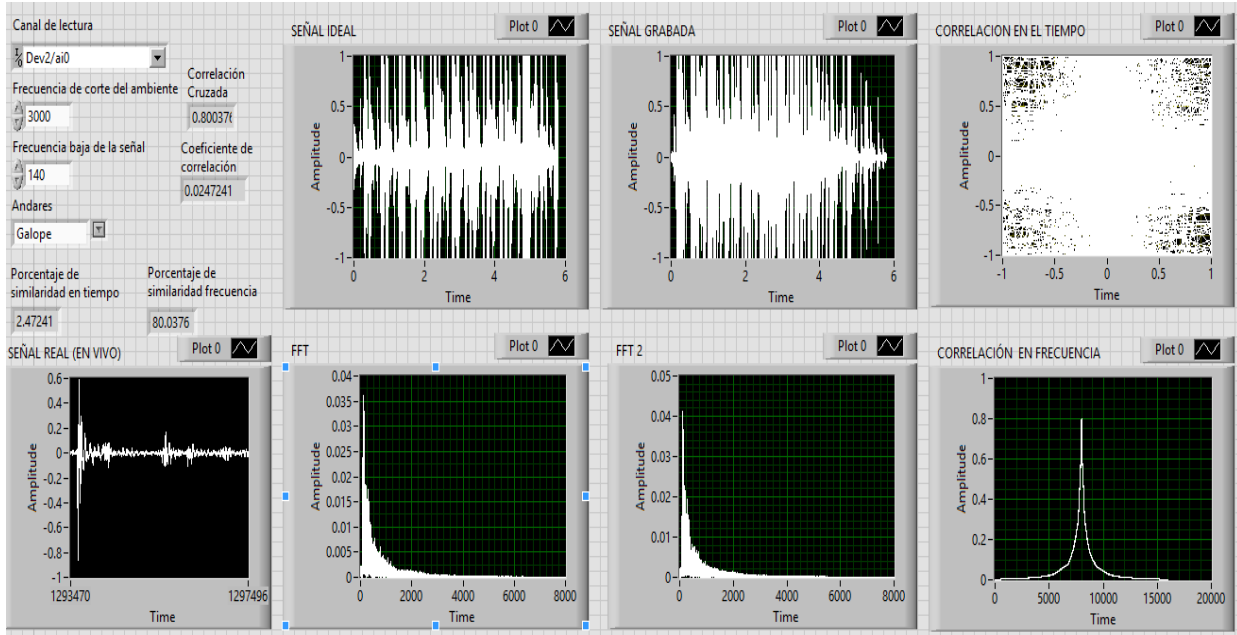


Figura 19. Resultados 2 en pista 8



Figura 20. Resultados 2 en Ubidots 8

