

INFORME PRÁCTICA FINAL:

**Implementación de instrumentación electrónica en el ámbito de la
Geotecnia de la Industria civil y de construcción**

AUTORES:

**Santiago Villarreal Villarraga
Juan Manuel López Hernández
Jhony Alejandro Herrera Parrado**

PRESENTADO A:

Luis Fernando Melchior Ramirez Ing,



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C. 2022**

Introducción

Planteamiento del problema, posibles usuarios y justificación

En los últimos años y décadas el avance tecnológico ha aumentado de manera exponencial, de tal manera que hoy en día una gran cantidad de tecnologías como el internet o los dispositivos móviles son parte de nuestra vida diaria, sin embargo, este avance no solo afecta al individuo, también afectan a todas las grandes industrias del mundo moderno, incluso aquellas tan antiguas como el ser humano moderno.

Para este proyecto nos enfocaremos en la industria de la construcción, la cual se divide en una numerosa cantidad de subdivisiones o especialidades (Construcción de vías, estructuras como puentes o edificios, infraestructura de alcantarillado, etc..), todas requieren la toma y análisis de datos con respecto al entorno de la obra, específicamente el suelo. La ciencia especializada en el tema es la geotecnia, la cual permite a los ingenieros civiles obtener la información necesaria para realizar sus cálculos que incluyan todos los factores requeridos para diseñar una construcción segura y duradera.

Por lo cual en esta clase se piensa diseñar e implementar un sistema de adquisición electrónico que permita tomar las medidas y datos necesarios del suelo de manera sencilla, precisa y eficaz. Los posibles usuarios de este sistema claramente serán las empresas de construcción y/o empresas terceras contratistas que se encargan de llevar a cabo estos estudios previos para las constructoras dentro y fuera del país, finalmente la mayor ventaja que tiene el sistema a ser diseñado es su diseño y producción de manera local, reduciendo su precio de manufacturación, así permitiendo que pequeñas empresas lo adquieran y realicen su trabajo de manera más eficaz.

Antecedentes y estado del arte

ESTADO DE ARTE:

La geotecnia moderna se apoya y depende altamente del poder de procesamiento matemático de las computadoras modernas, las cuales son esenciales a la hora de resolver ecuaciones diferenciales y modelos constitutivos que permiten generar un modelo mecánico del suelo o subsuelo. Estos modelos necesitan parámetros de entrada que caractericen de manera mecánica al material, en otras palabras, necesitan una gran cantidad de módulos elásticos, dinámicos y relaciones de Poisson para que las computadoras sean capaces de resolver el modelo en términos de esfuerzos y simulaciones, sin embargo, definir de manera correcta y precisa estos módulos y demás entradas del sistema requiere una gran cantidad de pruebas y ensayos de laboratorio, los que no siempre son factibles desde un ámbito económico.

Esto crea la necesidad de obtener estos datos mecánicos de una manera in-situ (en la misma obra) de forma sencilla y estandarizada, lo cual llevo a la creación de las siguientes pruebas:

- El ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar es una prueba de penetración dinámica que se viene realizando desde los años 1920, esta prueba consiste en contar el número de golpes necesarios de un martillo de 63.5 kg ubicado en caída libre a una altura de 76 cm se introduzca a una profundidad previamente determinada, esto se realiza con el fin de caracterizar el subsuelo respecto a la energía que transfiere el martillo a este al caer y tomar una muestra del suelo on-site.

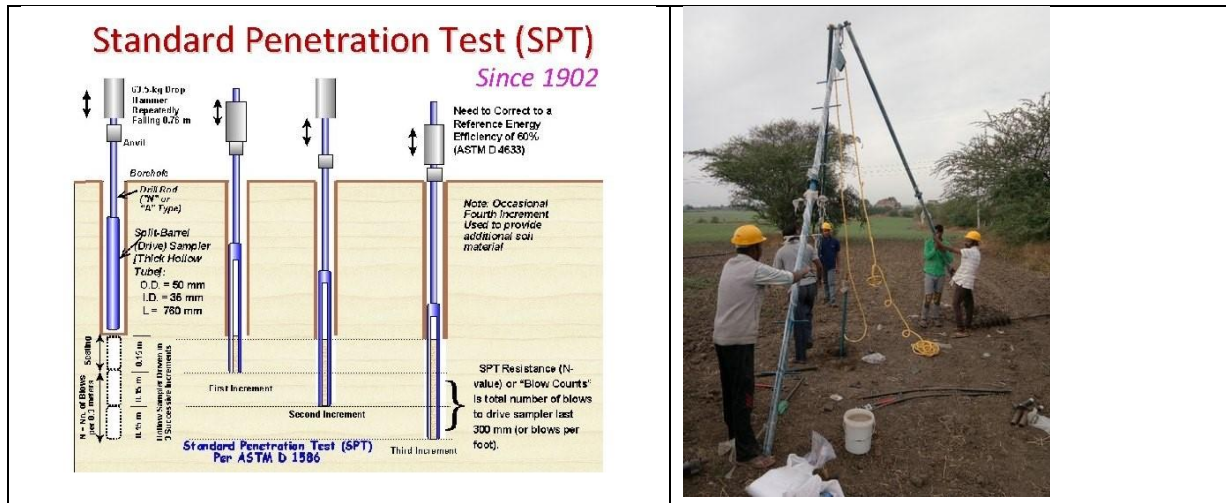


Ilustración 1: Modelo prueba ensayo de penetración estándar

Este ensayo geofísico ha sido usado de la misma manera por gran parte del último siglo, la gran diferencia ocurrió entre los años 70s y 80s con la aparición con máquinas capaces de resolver una gran cantidad de operaciones aritméticas mucho más rápido que cualquier humano: las máquinas de Turing, es decir, la computadora.

Esto permite realizar cálculos rápidos y precisos con la información obtenida en la prueba dinámica. Con el paso de los años se han diseñado sistemas de adquisición electrónicos que facilitan y automatizan el proceso de procesamiento de datos, como podría ser el **SPT Analyzer** de Pile Dynamics, Inc

:



Ilustración 2: SPT Analyzer Comercial de Pile Dynamics

El dispositivo es capaz de determinar la energía transferida del martillo a el suelo mediante mediciones de fuerza y velocidad, Igualmente proporciona una reporte y análisis del sistema extremadamente rápido para usarse en pruebas parciales y rápidas del terreno. El hecho de que el Analyzer es portátil ayuda a aumentar la eficiencia de adquisición de datos aún más, ya que el ingeniero residente de la obra puede observar los resultados de ensayo de manera inmediata sin necesidad de desplazarse fuera de la obra o sitio de construcción.

Aunque esta clase de aparatos busca agilizar y facilitar el procesamiento de datos durante el SPT, el proceso de adquisición de datos en si es el mismo proceso geofísico propuesto hace más de 100 años, por lo que recientemente se han imaginado otros métodos de toma de muestras, como podría ser:

- Sondeo vertical eléctrico (VES)

El sondeo vertical eléctrico es un método de investigación de un medio geológico, este método se basa sobre la estimación de conductividad eléctrica o resistividad del medio a medir. Esta estimación se lleva a cabo las medidas del voltaje inducido por el campo de unos electrodos a tierra que se encuentran a la distancia deseada,

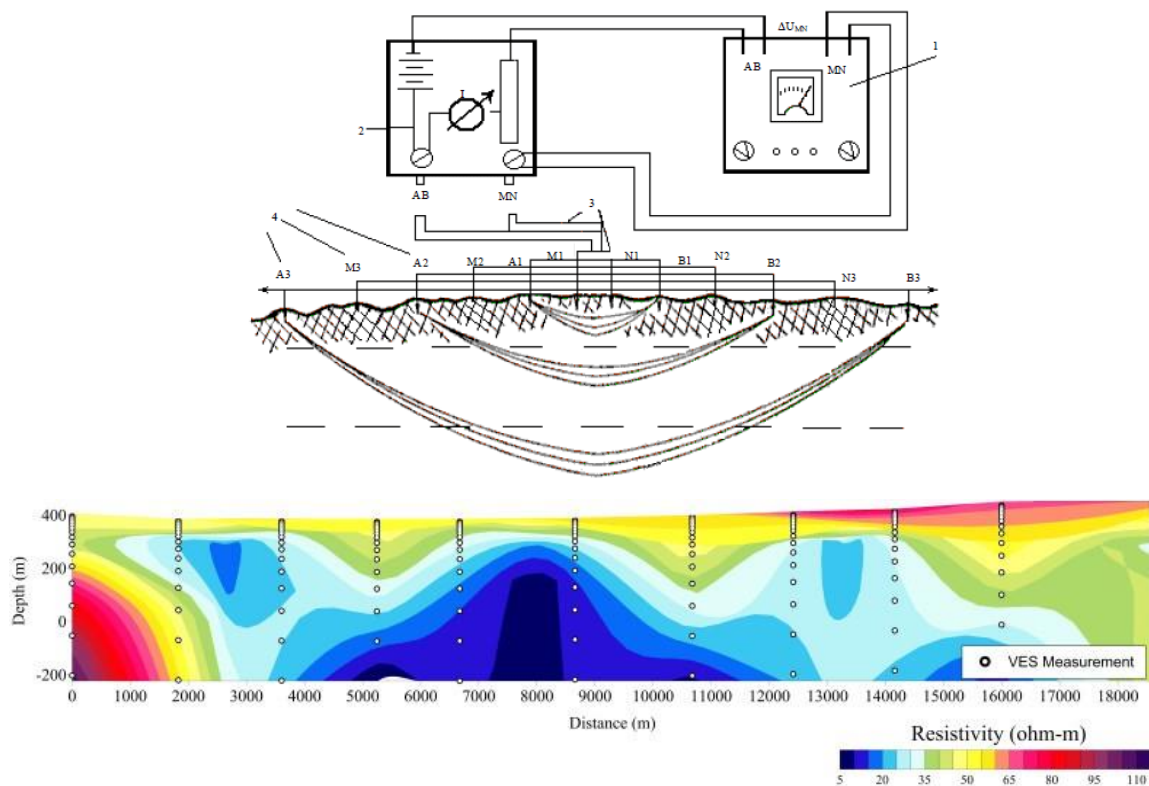


Ilustración 3: Modelo prueba de sondeo vertical eléctrico (VES) y sus análisis del suelo

Este método busca usar energía eléctrica y magnética en vez de mecánica para encontrar la información deseada, usando un simple multímetro y algunos electrodos para obtener los valores de resistividad aparente del suelo subterráneo y subsecuentemente se correlaciona los valores obtenidos con el N-golpes de un ensayo de penetración estándar del mismo subsuelo, lo que nos correlaciona directamente el valor resistivo eléctrico con la caracterización física deseada.

Este método tiene unas ventajas con respecto a la SPT promedio, ya que no requiere uso o movilización de maquinaria pesada, preparación para la medición y, más importante, es mucho más económico que sus contrapartes geofísicas.

- Pruebas dinámicas de carga (PDA)

La prueba de carga dinámica en pilotes (PDA) logra determinar la carga última de pilotes o la carga de trabajo según sea requerido mientras se obtiene información de la distribución de fricción a lo largo del pilote, carga punta y evaluación de la integridad de este.



Ilustración 4: Modelo y sensores usados en las pruebas dinámicas de carga (PDA)

La carga se aplica sobre el pilote de manera dinámica mediante golpes de un sistema de percusión adecuado. Las diferentes mediciones son realizadas por sus respectivos sensores: deformímetro para medir la fuerza y acelerómetros para medir la velocidad (el movimiento). Estos sensores se encuentran ubicados en el pilote como tal.

Esta prueba es esencial para la construcción de rascacielos o edificaciones a gran escala como estadios o centros comerciales, ya que, como estos manejan mucho peso, sus columnas y estructura responsable de soportar el peso deben estar en perfecta condición y no presentar errores de fabricación o implementación.

- Strain and Acceleration Sensors (Pile Dynamics, Inc.)

Uno de los líderes en la manufacturación de sistemas PDA Y SPT es *Pile Dynamics*, según múltiples reseñas sus transductores y acelerómetros son confiables, convenientes de instalar y remover y altamente durables. Incluso están disponibles en un formato inalámbrico por un precio adicional.



Ilustración 5: Kit de prueba SPT (strain gauge y acelerómetro) de Pile Dynamics

Además de la colección de datos para pruebas dinámicas de carga (PDA), los acelerómetros presentes también se usan en la calibración energética del martillo de ensayo de penetración estándar (SPT) con el PDA o el SPT Analyzer.

El sistema este compuesto por un acelerómetro piezoresistivo (PR) y un transductor de tensión. A continuación, se puede observar sus especificaciones, incluyendo rango de operación, sensibilidad, rango de temperatura, entre otros aspectos:

<p>Piezoresistive (PR) Accelerometer <i>(Model K)</i></p> <p>Mounting: Custom aluminum block (45 x 25 x 30 mm)</p> <p>Circuit: Full bridge</p> <p>Cable: Shielded, standard length 900 mm (traditional) or 450 mm (wireless)</p> <p>Sensitivity: Nominally 0.07 mV/g with 6.4 V.D.C. input</p> <p>Range: 20,000 g (Limit 30,000 g)</p> <p>Frequency Range: DC to 4.5 kHz</p> <p>Temperature Range: -12° to 55°C operating</p> <p>Attachment Method: Bolts to pile</p> <p>Options: Extra cable length</p>	<p>Strain Transducer</p> <p>Effective Gage Length: 76 mm standard</p> <p>Size: 126 x 35 x 11 mm</p> <p>Material: Aluminum (Steel option for structural or static testing)</p> <p>Circuit: Full Wheatstone bridge</p> <p>Cable: Shielded, standard length 900 mm (traditional) or 450 mm (wireless)</p> <p>Sensitivity: Nominally 380 μV/V</p> <p>Strain Range: Nominally 3000 $\mu$$\epsilon$</p> <p>Shock Range: Nominally 5000 g</p> <p>Natural frequency when attached to foundation: greater than 2000 Hz</p> <p>Temperature Range: -50° to 120°C operating</p> <p>Attachment Method: Bolts to pile. (Optional C-clamps or mounting tabs and adhesive for structural testing)</p>
--	--

Ilustración 6: Especificaciones Kit de prueba SPT, Pile Dynamics

Protocolo de pruebas

Las condiciones iniciales de la prueba son las siguientes:

- Tener el circuito completamente desconectado antes de la ejecución de las pruebas, y estas realizarlas casi inmediatamente al momento de conectar el sistema, con el fin de que éste se encuentre en su estado inicial.
- Ubicar las entradas de los sensores y conectar a ellas un generador de señales o en su defecto las salidas de un módulo digital, teniendo en cuenta que la señal generada por este debe ser de tipo RSE y no diferencial.
- Ubicar el pin de salida y colocar allí la punta de un multímetro.

para tener en cuenta el funcionamiento:

- la medida de polarización se refiere a los valores de voltajes de interés en el circuito, estos valores son sin una señal de entrada, por lo cual la fuente de entrada deberá apagarse y simplemente dejar prendidas las fuentes de polarización VCC y V_{reg}, una vez hecho esto se deberá medir los valores de voltaje en todos los pines que estén conectados a estas fuentes.
- a respuesta en frecuencia se refiere al bode del sistema, que ganancia en dB se obtiene para varias frecuencias de la señal, para esto se deberá hacer un barrido de frecuencia de la fuente de entrada del circuito, esto se deberá verificar teniendo frecuencias claves.
- Para la salida serial ubicamos Tx en la PCB, donde la información será enviada con el protocolo Usart, el cual serán recibidos por pantalla de computador y a partir de estos verificaremos el correcto funcionamiento de la conversión para cada sensor.

Marco teórico

Ondas mecánicas

Se denominan ondas mecánicas a aquellas que se desplazan por un medio deformable o elástico, a diferencia de por ejemplo las ondas electromagnéticas que no necesitan de medio de propagación, estas pueden ser ondas longitudinales u ondas transversales, las ondas longitudinales producen movimientos en las partículas que van en la dirección del movimiento mientras que las ondas transversales producen movimientos verticales sucesivos de las partículas del medio en el que viajan.

Ensayo de penetración estándar (SPT)

Es un tipo de ensayo usado en la geotecnia, es de hecho el más utilizado debido a lo sencillo, rápido y económico que el realizarlo, este consiste en soltar un martillo de un peso de 623N desde una altura de 0,76m sobre un yunque firmemente unido a unas barras las cuales penetran el suelo y obtienen muestras de este, además de la información de la energía transmitida; permite obtener un valor **de resistencia a la penetración** que consiste en sumar los números de golpes de los dos tramos intermedios de 15 cm, cuando la resistencia del terreno sea muy elevada y se alcancen al menos 50 golpes en el tramo se puede dar por finalizado el ensayo.

Acelerómetro

Como su nombre lo indica, mide la aceleración o vibración del movimiento de una estructura a la cuál están unidos, La fuerza generada por la vibración o el cambio en el movimiento (aceleración) hace que la masa comprima el material piezoeléctrico, generando una carga eléctrica que es proporcional a la fuerza ejercida sobre él. Es de esta forma que al ser la fuerza proporcional a la aceleración se pueda obtener un valor de esta misma.

Existen dos tipos de acelerómetros, los de carga de alta impedancia y los de baja impedancia, estos últimos son de nuestro interés ya que estos son los que mayormente se usan en la industria, estos acelerómetros de baja impedancia tienen en su extremo un acelerómetro de carga, un microcircuito y un transistor FET.

Galgas extensiométricas

Son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada, estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión, etc. En un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido; cuando se aplica una fuerza externa a un objeto estacionario, se produce tensión y estrés sobre él, aumentando así su resistencia interna, con esto se puede calcular la fuerza ejercida en la deformación.

Objetivo general y específicos

Objetivo general

Diseñar un sistema de adquisición de señales que detecten, procesen y envíen información con respecto a las deformaciones del terreno y fuerza aplicada sobre este, o sobre un pilote para facilitar la adquisición de diferentes variables (Fuerza aplicada, movimiento causado, carga ultima, etc.) que

ayuden un análisis geotécnico más eficiente y eficaz en una obra mediante un sensor análogo con procesamiento digital.

Objetivos específicos

- Mediante el uso de sensores análogos (deformímetro, acelerómetro y geófono) desarrollar un sistema que permita la conversión de variables analógicas (fuerza, velocidad y movimiento del suelo), a variables digitales más sencillas de manejar, como las señales eléctricas variables (Voltaje y corriente)
- Usando el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera, fuentes de información adicionales (como datasheets) y la guía del maestro, poder desarrollar el Software y Hardware del sistema de adquisición con microcontroladores y poder proyectar en una interfaz grafica los resultados.
- Organizar de manera clara la información que se obtenga mediante el sistema de medición, tal que la información presentada sea fácil de comprender y digerir por el trabajador encargado sin mayor problema. Ej: tabla de datos y graficas que muestren el comportamiento del sistema.
- Presentar los datos proporcionados por el sistema de manera visual, con el fin de que el usuario sea capaz de utilizar la información resultante de manera fácil y rápida.

Requerimientos de la solución

-Tiempo: Es un proyecto con pequeñas entregas de avances al profesor y al cliente durante todo un semestre, todo tiene que ir funcionando por partes y ser estrictos con el tiempo. Por ello estaría bien programarse desde un principio con el grupo, para cumplir con los requisitos del proyecto. Se puede elaborar un cronograma que identifique el horario disponible para realizar tareas y avances y que también resalte las fechas de entregas para estar al día y cumplir con los plazos.

-Cálculo de variable físicas: Con el dispositivo ya montado con la capacidad de adquirir variables físicas como lo son la aceleración, y la deformación, el sistema debe arrojar cálculos precisos (desde la recepción de la señal, a su acondicionamiento y finalmente a la conversión análoga a digital que se muestran procesadas en el computador con el software de LabVIEW) en las frecuencias de corte exigidas por el estándar y con las ganancias necesarias lo cual permite poder evaluar la resistividad del suelo y su calidad.

-Diseño del circuito en PCB: El circuito que realiza el procesamiento de los sensores y hace la adquisición de las señales, debe estar diseñado y montado sobre una PCB que cumpla con los rangos de voltaje necesarios, que no entren en conflicto con los demás componentes y que no se vea afectado por el ruido o interferencia (señales que alteran los resultados esperados), y que para los sensores que se van a montar y que cumplan con los requisitos del estándar den en la ganancia deseada y la frecuencia de corte estipulada.

-El proyecto debe poder ser realizado con el nivel de conocimiento actual de los estudiantes y debe poder ser aplicado a problemas reales del día a día de la geotecnia. Las adquisiciones de medidas deben ser realizadas a pequeña escala teniendo en cuenta la factibilidad practica y económica del proyecto. • **Diseño compacto:** El sistema debe ser lo suficientemente compacto para que este pueda ser montado de manera directa sobre el pilote que se realizaran las medidas.

Selección de sensores

Para saber que clases de sensores son aptos para la implementación de nuestra solución planteada y el diseño del circuito que los alimenta debemos revisar la normatividad de la prueba de penetración estándar: D4633- 10 "Standard Test Method for Penetration and Split-Barrel Samplig of Soils"

- "Accelerometers shall be linear to a least 10000 g and have a useable frecuancy response to at least 4.5 kHz" - *5.3 Apparatus to Measure Acceleration*

- Basado en las imágenes proporcionadas por el cliente, la galga extensiométrica debe poder medir hasta fuerzas de 50 kN

De esta normatividad estándar es necesario que los sensores cumplan las reglas especificadas en la normatividad, y se decidieron usar los siguientes:

- Acelerómetro Piezoeléctrico PCB-(M)35B03



Ilustración 7: Acelerómetro Piezoeléctrico PCB-(M)35B03

Este acelerómetro de gran precisión cumple con el requisito propuesto, ya que tienen el rango especificado de $\pm 10,000$ g, este sensor en específico se utiliza en sistemas de choque, lo cual lo hace perfecto para nuestro proyecto. También pensamos que es posible pedirlo prestado a la facultad de ingeniería civil con el fin de probar el circuito final.

- Celda de carga FN3030A2

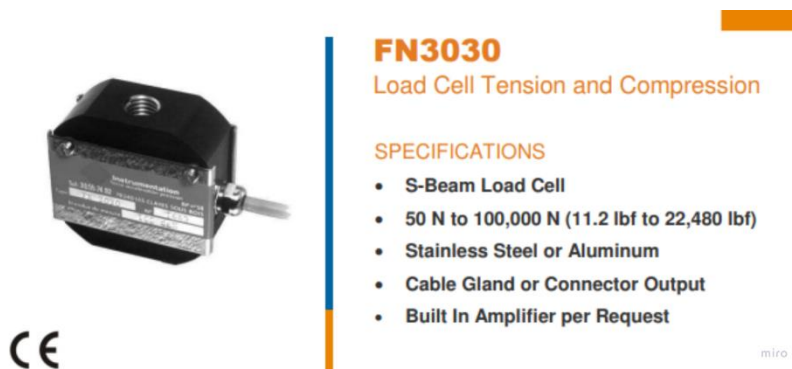


Ilustración 8: Celda de carga FN3030A2

Esta celda de carga mide desde 50N a 100 kN, sin embargo, esta clase de sensores son de nivel industrial, lo cual los hace extremadamente costosos y difíciles de adquirir, por lo cual finalmente decidimos utilizar una galga común y corriente de 1 kg como una prueba de concepto, con el fin de obtener datos reales con este circuito:

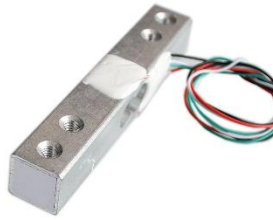


Ilustración 9: celda de carga 1KN.

- Geófono



Type	EG-1-HS-II
Natural Frequency (Hz)	0.75 ± 0.1
Damping	$0.5 \pm 20\%$
Sensitivity (80 Hz) v/m/s	$650 \pm 10\%$
DC Resistance Ω	$3300 \pm 10\%$
Distortion %	$< 0.3\%$

Ilustración 10 : Geofono.

Para la implementación analógica del circuito se utilizó el geófono con referencia EG-1-HS-II el cual posee una frecuencia natural de 0,75 Hz y una sensibilidad a 80 Hz de 650 v/m/s.

Diseño del circuito

Ya conociendo los sensores los cuales va a utilizar nuestro sistema, ya podemos decidir como el circuito va a transformar a la señal de este:

- 1) Seguridad del circuito y off sets DC:

Como se puede ver en el esquemático a continuación: En esta parte del circuito tenemos la alimentación mediante un jack DC de 24V, el cual está protegido por un condensador de desacople, un diodo de protección y por último un fusible de 5A.

La entrada de 24V se dirige a un regulador de voltaje de 5V el cual alimenta nuestros Vccs y mediante un divisor de voltajes y un operacional funcionando como un seguidor obtenemos los voltajes offset DC de cada circuito que para este caso los llamamos Vref y pone un voltaje de 2,5 V.

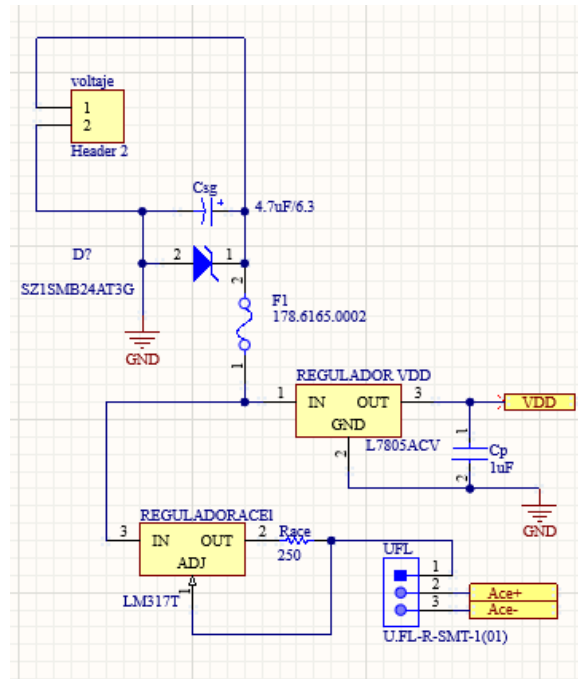


Ilustración 11: Esquemático parte 1.

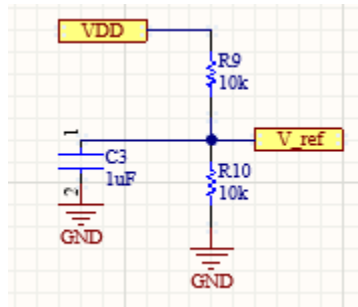


Ilustración 12: Esquemático parte 2.

2) Amplificadores implementados para circuitos de acondicionamiento y filtrado:

Para cada sensor se implemento una etapa de amplificación de la señal y de filtrado por lo que en total se utilizaron 6 amplificadores operacionales que permitieran realizar el acondicionamiento de la señal. Para el diseño de la PCB se optó por usar los integrados MCP6294IDR y MCP6292 que cumple con este objetivo, a continuación, se muestra el esquemático de este sobre Altium y las etiquetas a las que van conectados:

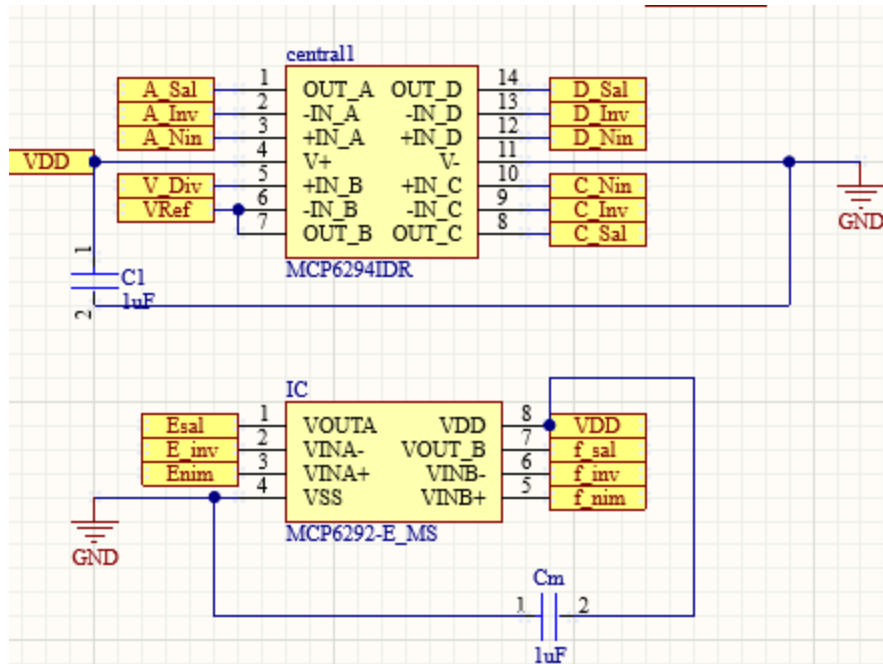


Ilustración 13: Esquemático parte 3.

3) Circuito del Acelerómetro:

Al observar la datasheet del acelerómetro PCB-(M)35B03 observamos que este tiene una sensibilidad de 0.05 mV/g, y ya que su rango es de $\pm 10,000g$, el voltaje que este nos proporciona oscila entre $-5V$ y $+5V$ (10Vpp). Por lo cual el circuito debe tener una ganancia de 0.5 V/V y un filtro pasa bajos de 100 Hz (según la normatividad). A continuación, se muestra el circuito diferencial que acondiciona la señal del acelerómetro, como también el circuito para el filtro pasa bajos empleado.

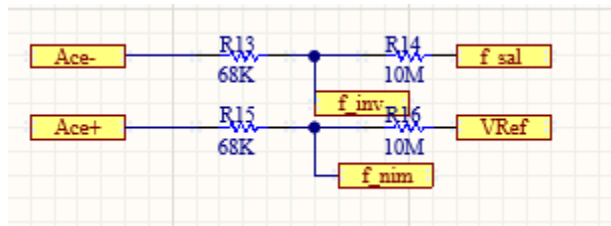
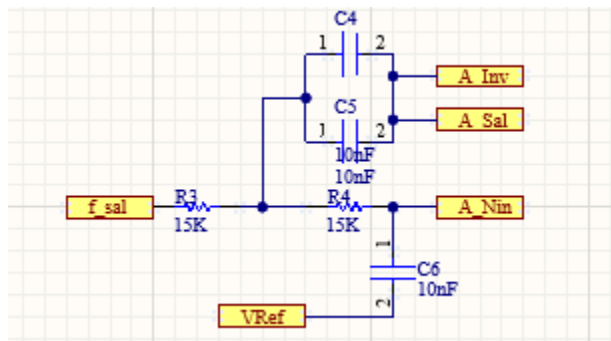


Ilustración 14: Esquemático parte 4.

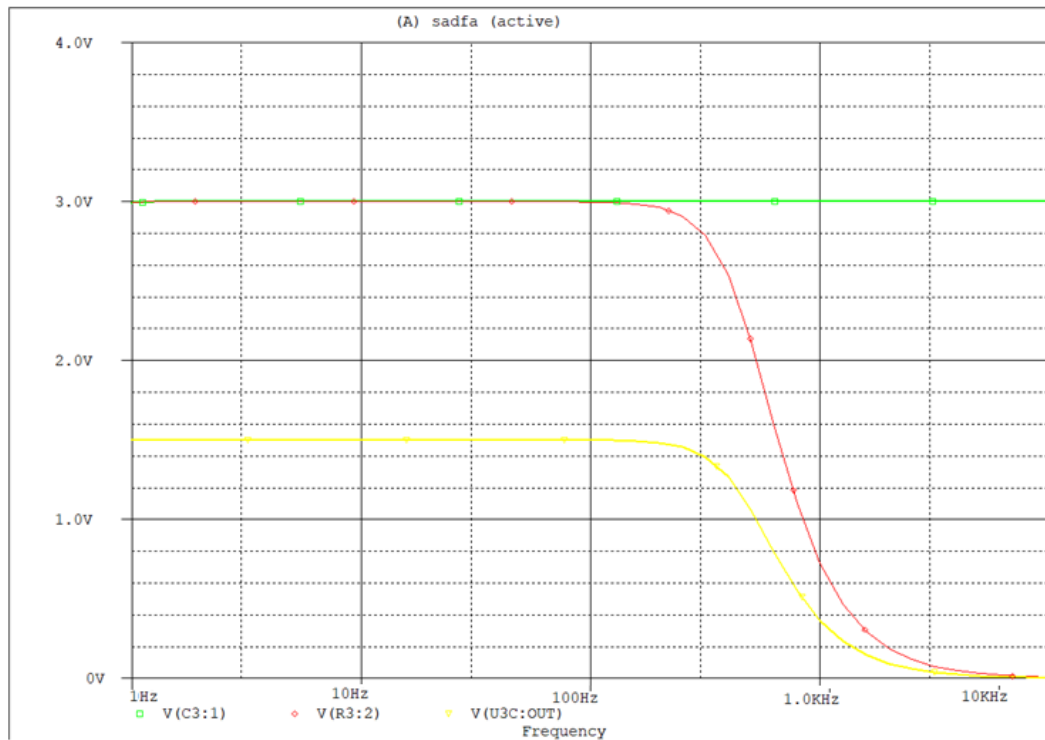
Y el circuito para el filtro pasa bajos de 100 Hz.



• *Ilustración 15: Esquemático parte 5*

- *Simulación Orcad Capture*

En Orcad se simulo el filtro pasa bajos con frecuencia de corte de 100 Hz y este fue el resultado:



- ***Ilustración 16:*** Simulación Orcad Capture frecuencia de corte.

4) Circuito de la galga extensiométrica:

Siguiendo la datasheet de este la galga, debido a que la galga da valores de voltajes muy pequeños, necesita una ganancia de 60 dBs y una frecuencia de corte de 1k Hz. Para este caso nuevamente mostramos el circuito de acondicionamiento de la señal de la galga que es de entrada modo diferencial y también se muestra el filtro implementado con una frecuencia de corte de 1k Hz.

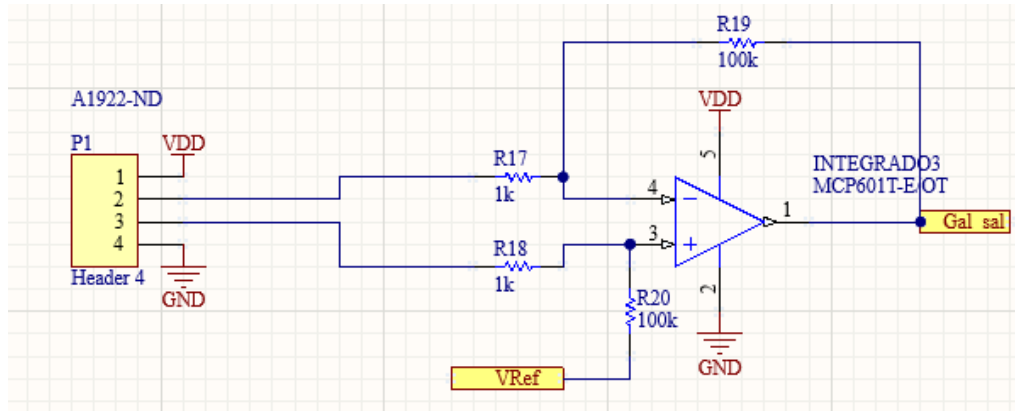


Ilustración 17: Esquemático parte 6.

Y el circuito para el filtro pasa bajos de 1k Hz.

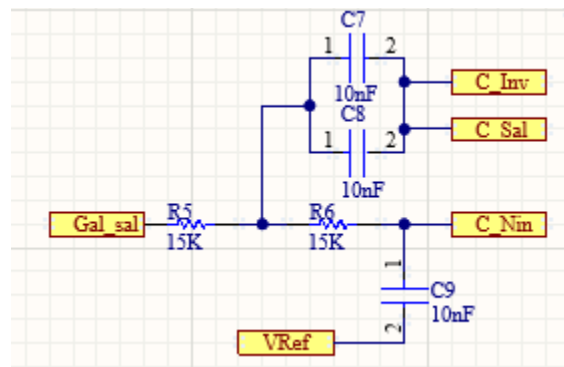
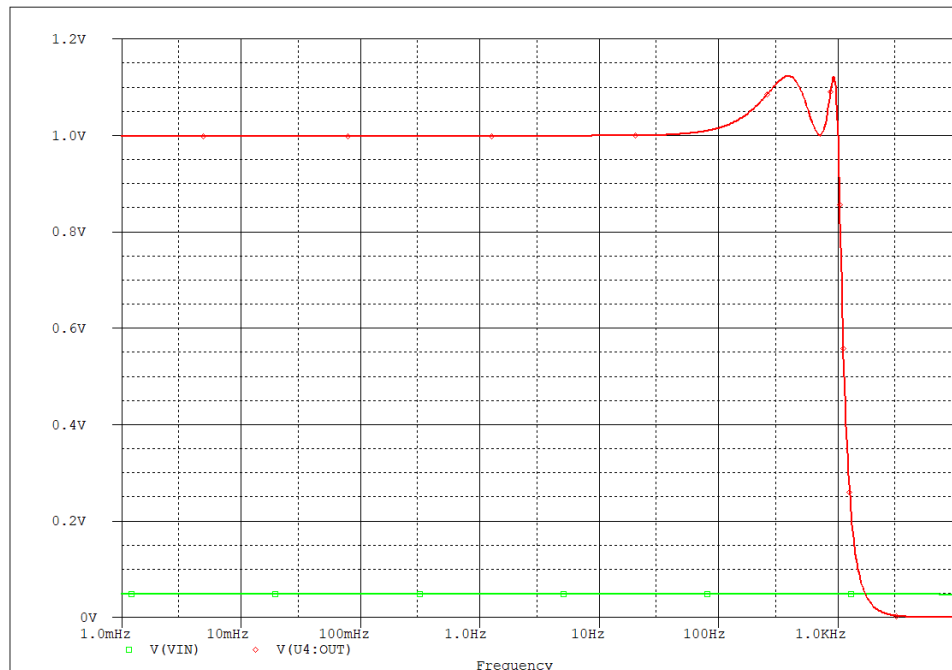


Ilustración 18: Esquemático parte 7.

- Simulación Orcad Capture

En Orcad se simulo el filtro pasa bajos con frecuencia de corte de 1k Hz y este fue el resultado:



• **Ilustración 19:** Simulación Orcad Capture en frecuencia.

5) Circuito del geófono:

Al igual que el acelerómetro el estándar sugiere una frecuencia de corte de 1k Hz para el geófono que se va a implementar por lo que el circuito de acondicionamiento y el filtro pasa bajos es muy similar. A continuación, se muestra el diseño para cada uno:

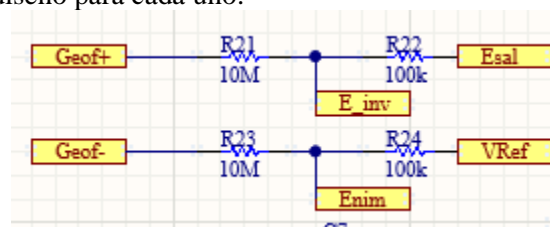


Ilustración 20: Esquemático parte 8.

Y el circuito para el filtro pasa bajos de 100 Hz.

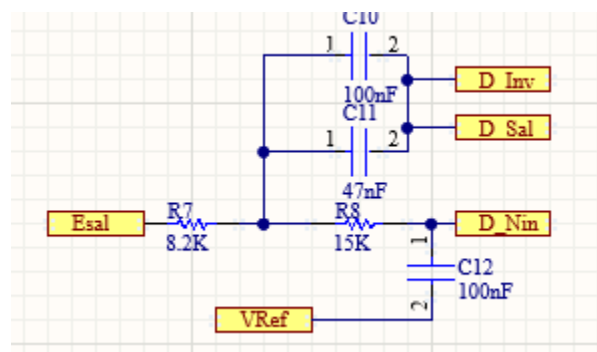


Ilustración 21: Esquemático parte 9.

6) Circuito completo

Habiendo realizado las simulaciones necesarias para cada circuito y obteniendo resultados satisfactorios se diseñó el circuito en su totalidad usando la herramienta Altium designer.

La siguiente ilustración se muestra el diagrama del esquemático del circuito de adecuación para este informe.

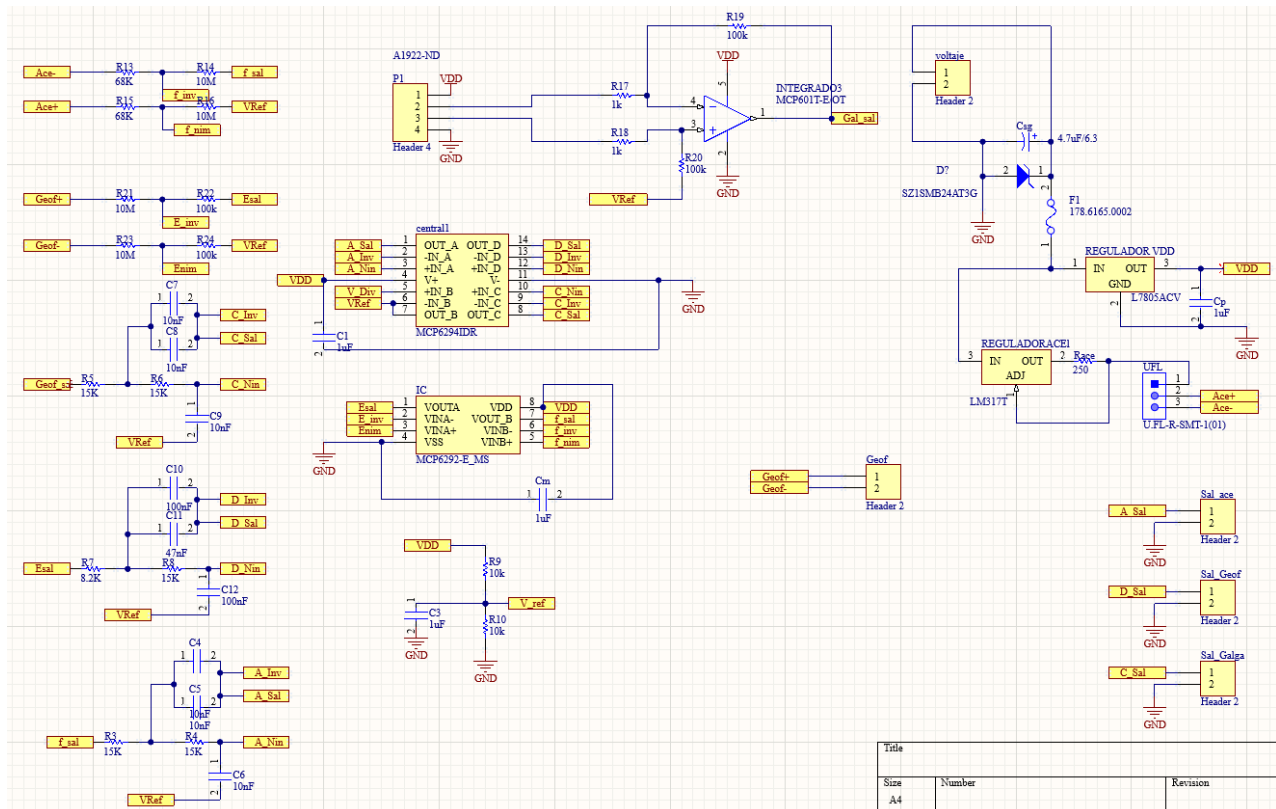


Ilustración 22: Esquemático final.

Montaje e implementación del circuito

Luego de verificar el esquemático se procedió a diseño la forma y la ubicación de nuestros elementos en el impreso PCB, el cual se mandó a proceso de fabricación

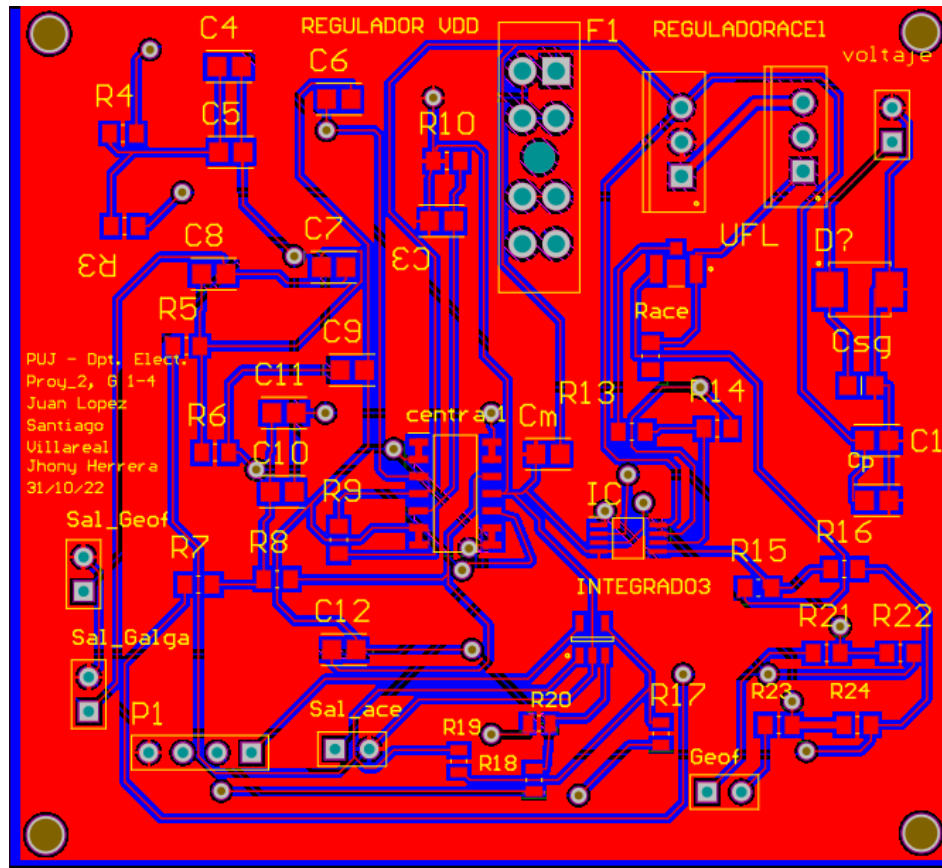


Ilustración 23: Diseño de montaje en PCB

Montaje del Circuito

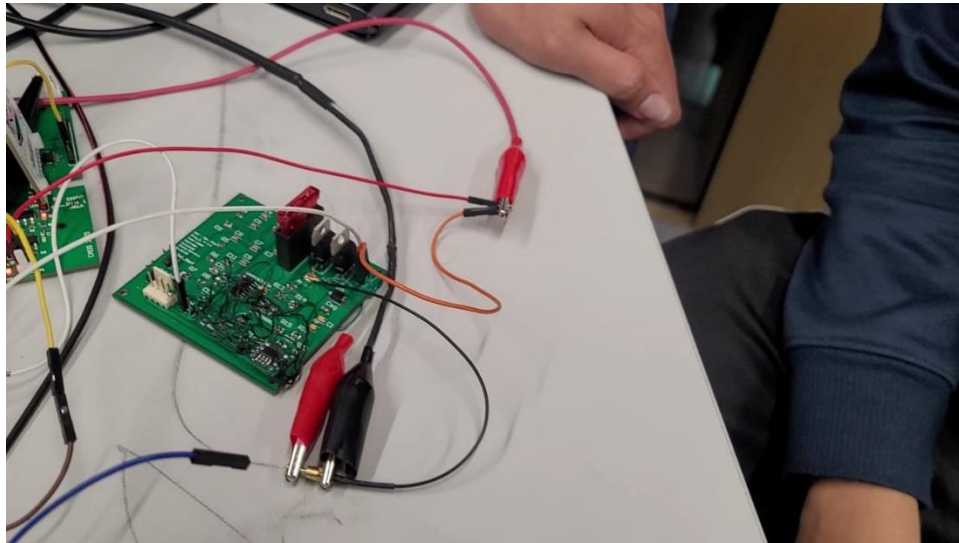


Ilustración 24: montaje en PCB.

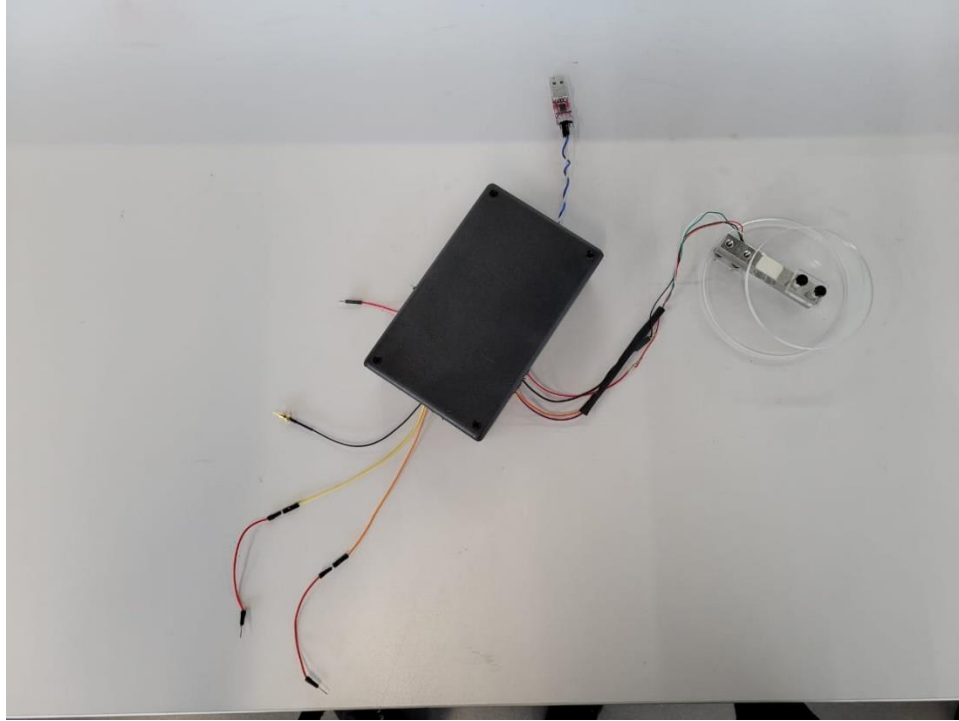


Ilustración 25: Montaje galga extensiométrica.

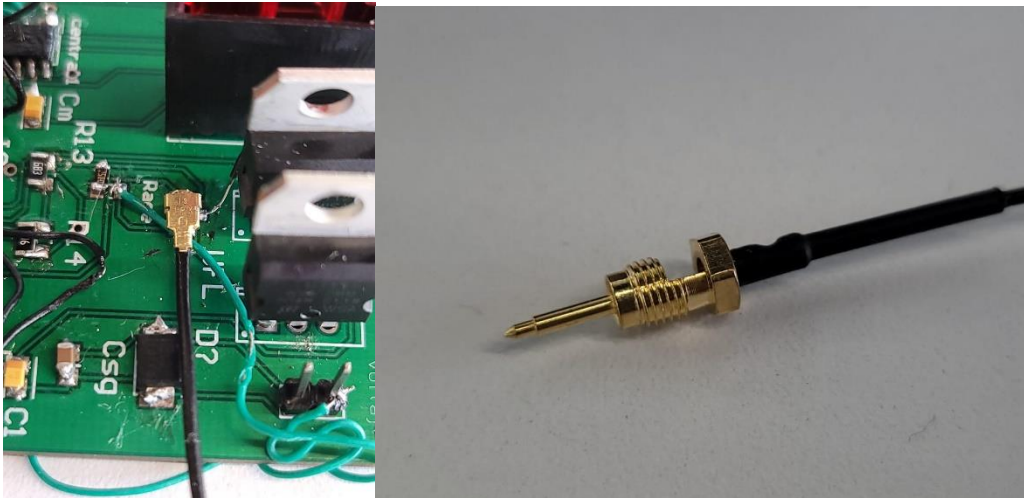


Ilustración 26: montaje en PCB conector UFL a sensor acelerómetro.

Caracterización del circuito

Luego de soldar, comprobar y arreglar el funcionamiento del circuito es necesario comprobar que los resultados obtenidos coincidan con el diseño:

- *Respuesta en frecuencia ganancia y SINAD*
- 1. Galga extensiométrica:

Primero se le alimenta al circuito y se le inyecta una señal un barrido creado en el generador de funciones, El cual tiene un voltaje pico a pico de 1 mV y barre de 1 Hz a 1 kHz (una década después de la frecuencia de corte diseñada, 1 kHz)

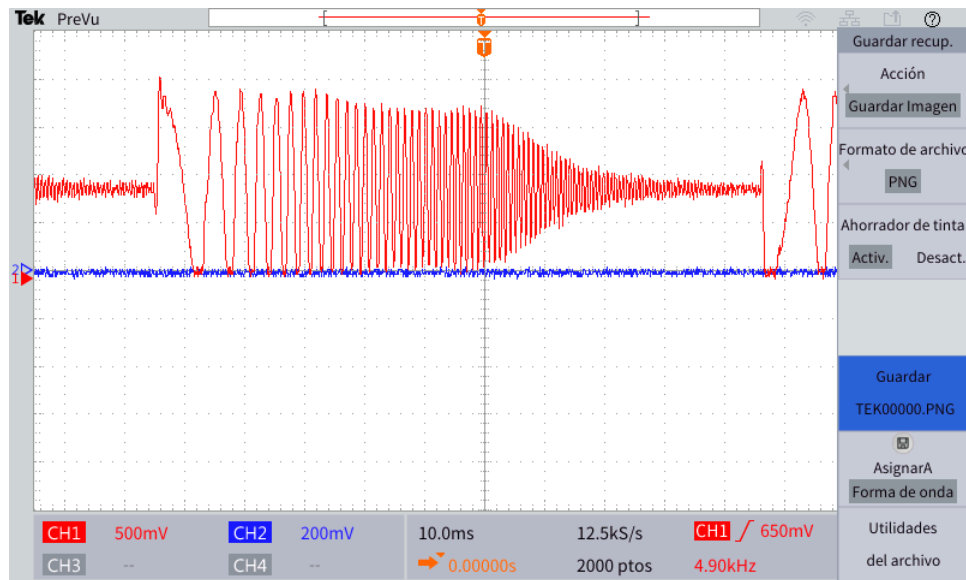


Ilustración 27: respuesta en frecuencia galga extensiométrica osciloscopio.

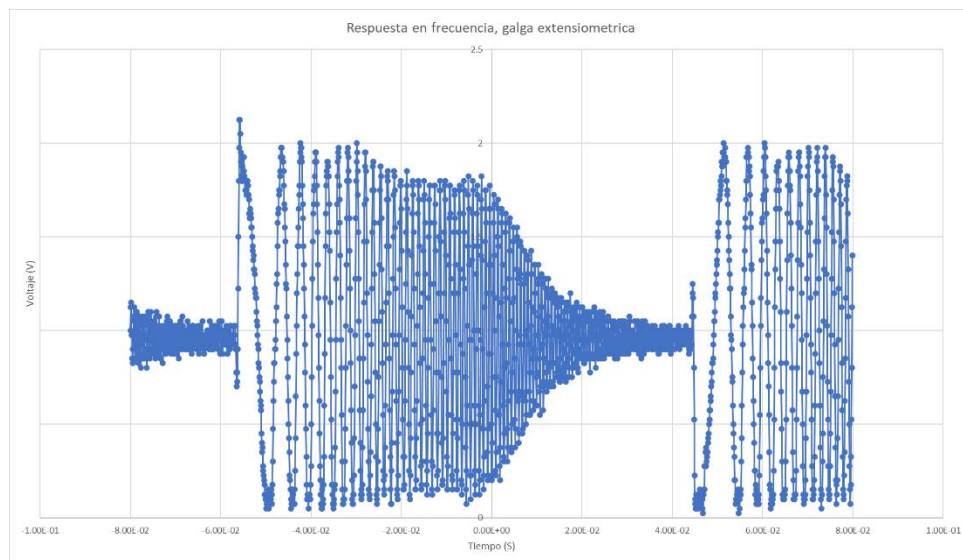


Ilustración 28: respuesta en frecuencia galga extensiométrica datos.

Como se puede ver en la imagen, el filtro pasa bajos está funcionando de manera correcta, ya que la señal se satura con mayor intensidad mientras más aumenta la frecuencia del barrido

A continuación, buscamos obtener la ganancia del circuito, para lo cual lo alimentamos con una señal de 2 mVpp de amplitud y 100 Hz (dentro del rango de la pasa bajos), obtenemos los siguientes resultados:

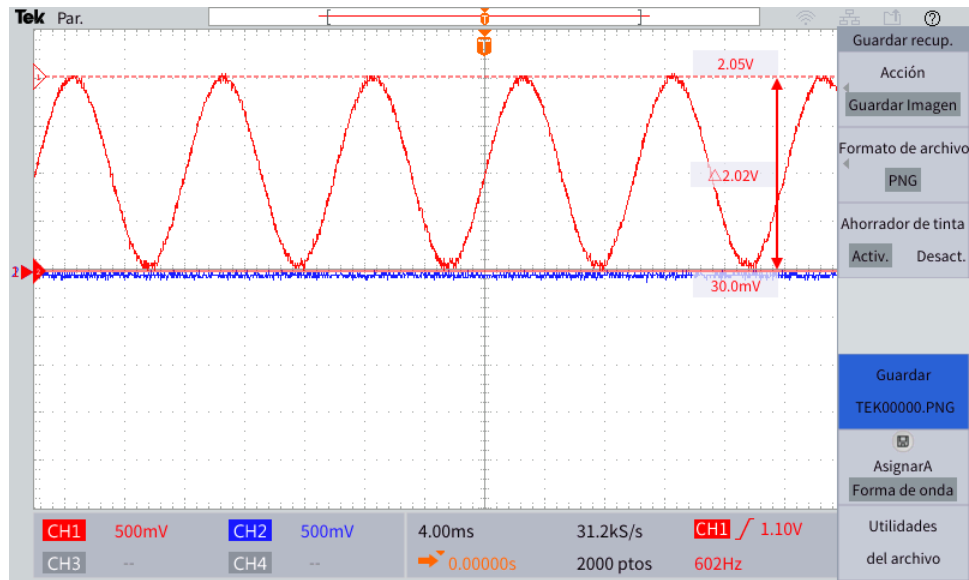


Ilustración 29: ganancia galga extensiométrica osciloscopio.

Como conocemos los valores de entrada y de salida del circuito podemos calcular la ganancia de este:

$$2V_{pp}/2 = 1 V_{pico}$$

$$2mV_{pp}/2 = 1 mV_{pico}$$

$$A_v = V_o/V_i = 1000 mV/ 1 mV$$

$$A_v = 1000 V/V$$

Tenemos una ganancia de 1000 V/V lo que equivale a aproximadamente 60 dBs.

En Signal Express con los bloques que este software nos ofrecen se diseño un programa que midiera el Sinad del circuito y este fue el resultado mostrado:

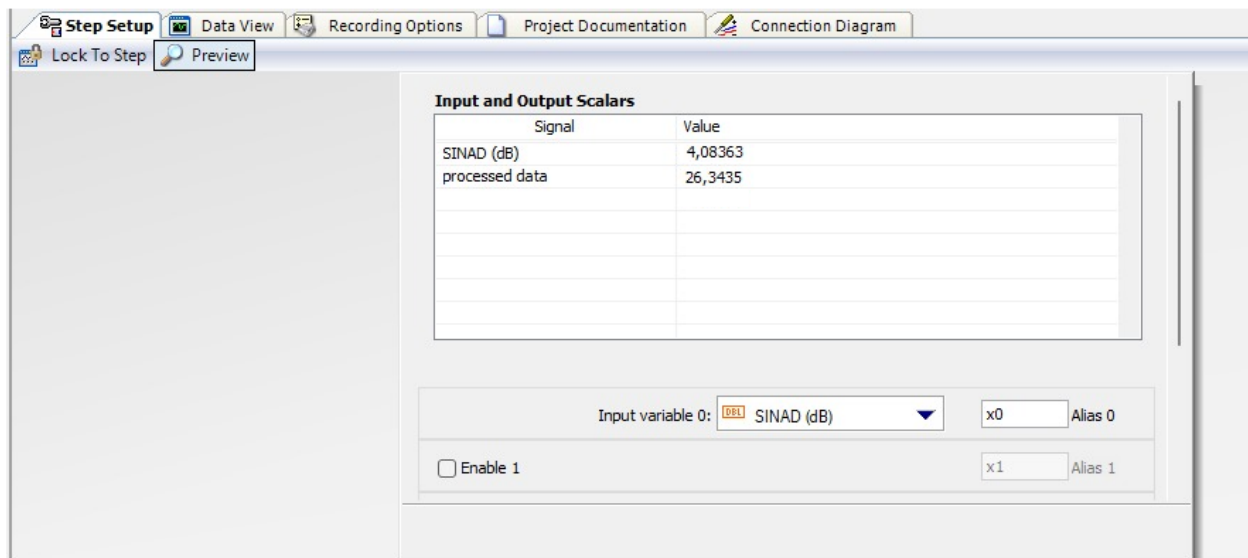


Ilustración 30: SINAD galga extensiométrica

2. Acelerómetro:

Primero se le alimenta al circuito y se le inyecta una señal un barrido creado en el generador de funciones, El cual tiene un voltaje pico a pico de 2 V y barre de 100 Hz a 50 kHz (una década después de la frecuencia de corte diseñada, 5 kHz)

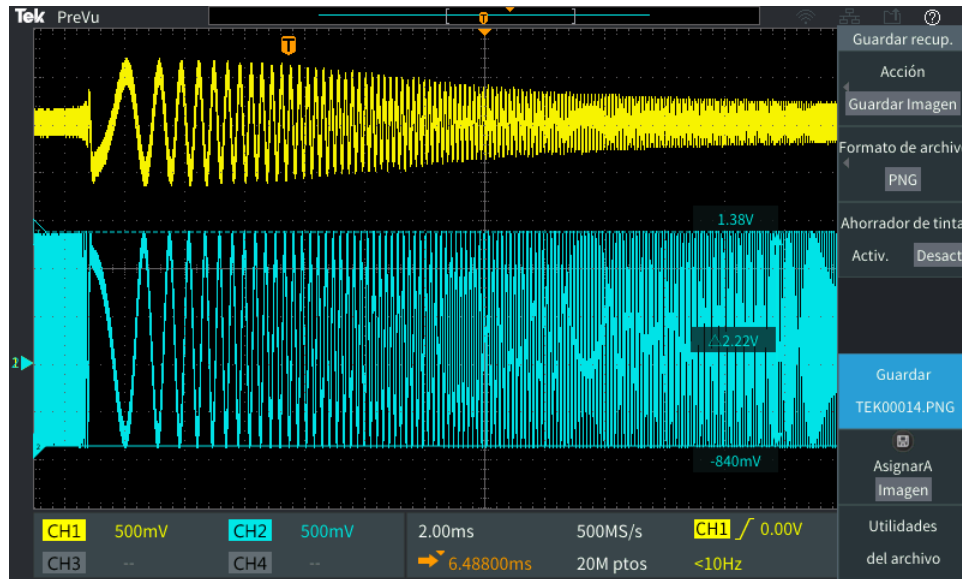


Ilustración 31: respuesta en frecuencia acelerómetro osciloscopio.

Igualmente, que en el punto anterior se observa que el pasábamos se encuentra funcional, pero a diferencia del circuito de la galga, el circuito del acelerómetro demora más de 1 década después para caer en su totalidad

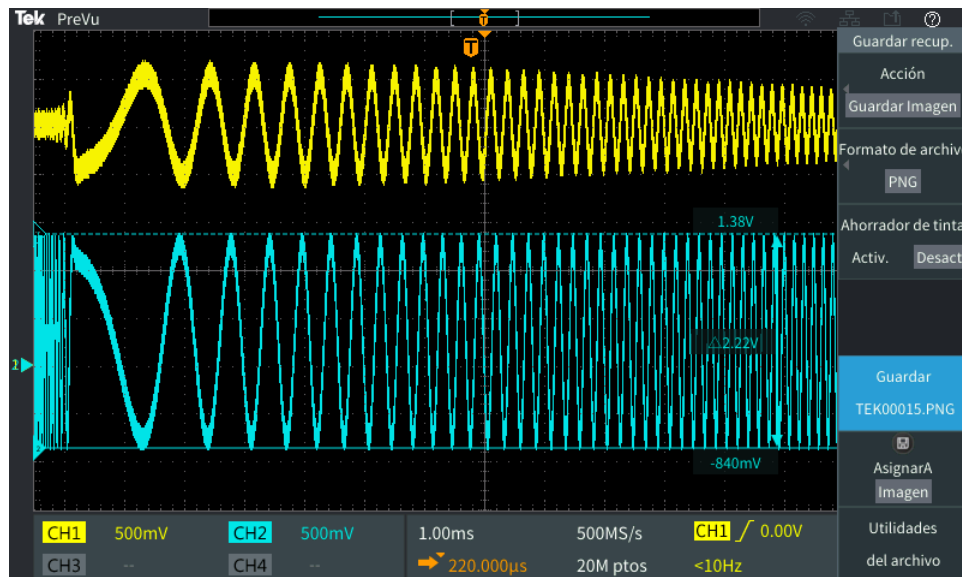


Ilustración 32: respuesta en frecuencia acelerómetro osciloscopio. 2

Para calcular la ganancia nos podemos enfocar en el valor que muestra el cursor del canal 2 (azul), una señal de entrada de 2.22 V pico a pico. Y ya que la señal del canal 1 (amarilla) está centrada en un offset de 2.5 V, y sabiendo que hay 500 mV por división, obtenemos un voltaje de salida de 1.2 Vpp.

$$2.22V_{pp}/2 = 1.11 V_{pico}$$

$$1.2V_{pp}/2 = 600 mV_{pico}$$

$$A_v = V_o/V_i = 600 mV / 1100 mV$$

$$A_v = 0.54 V/V$$

Tenemos una ganancia de 0.54 V/V lo que equivale a aproximadamente -5.35 dBs.

En Signal Express con los bloques que este software nos ofrecen se diseñó un programa que midiera el Sinad del circuito y este fue el resultado mostrado:

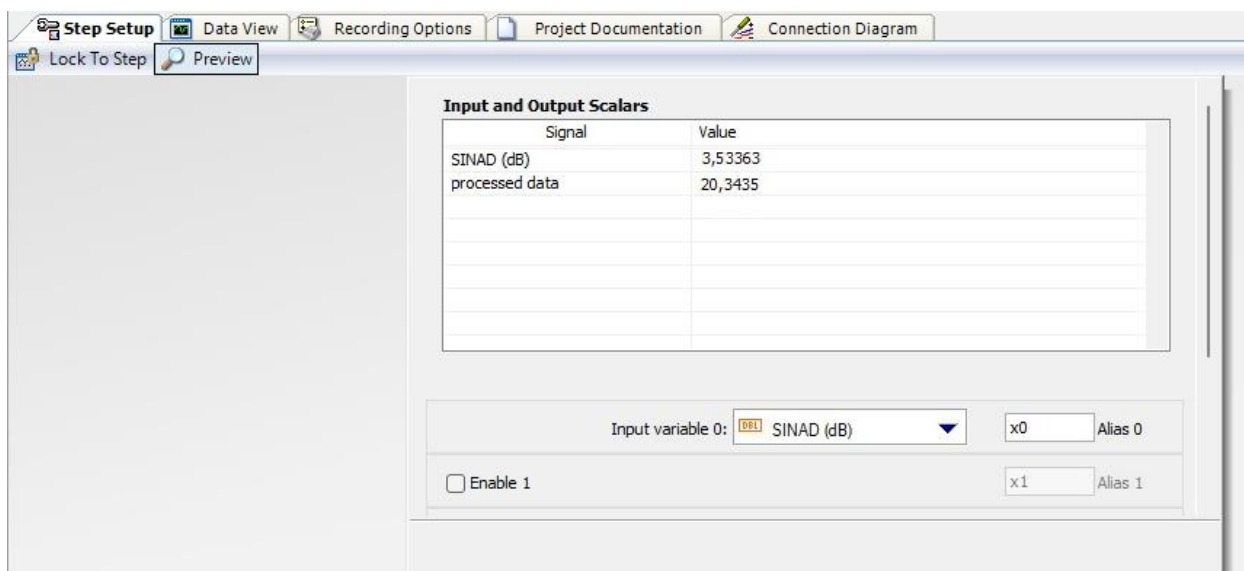


Ilustración 33: SINAD acelerómetro

- **Diagrama de Bode**

Utilizando un programa de SignalExpress, el cual genera una señal de barrido AC, la cual se inyecta al circuito se obtuvieron los diagramas de BODE ambos circuitos, los resultados fueron los siguientes:

- a. Galga extensiométrica

Igualmente, que, para la respuesta en frecuencia, se hizo un barrido de 100 Hz a 10 kHz, con 1mV

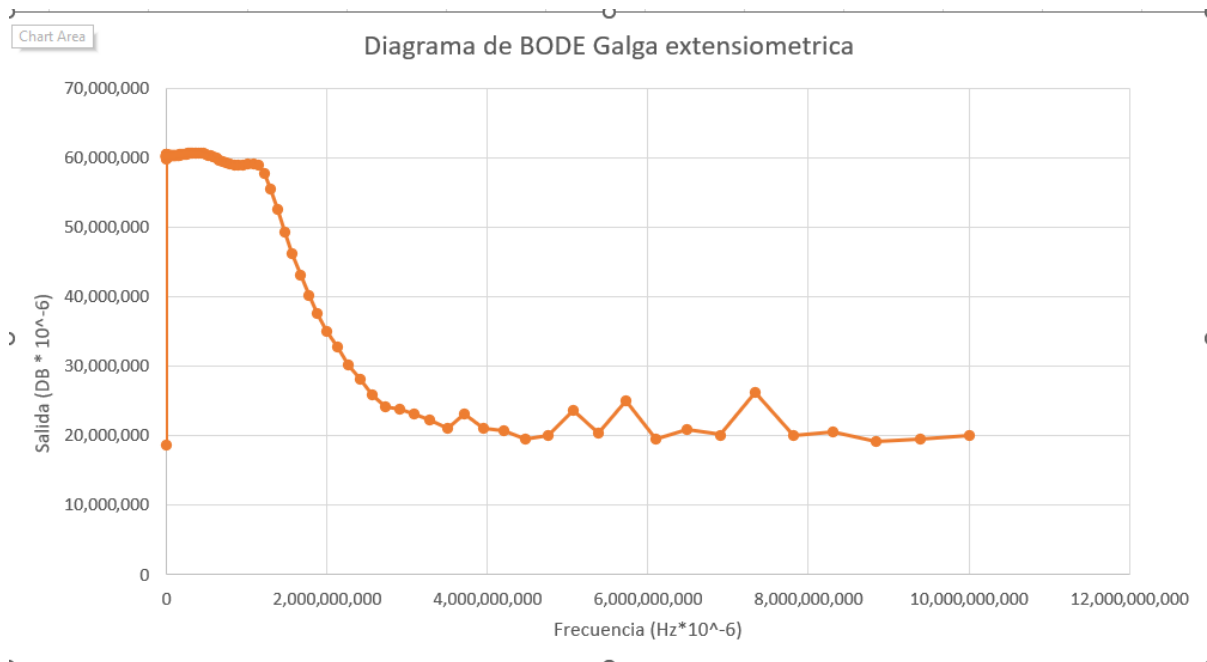


Ilustración 34: Diagrama de bode galga extensiométrica.

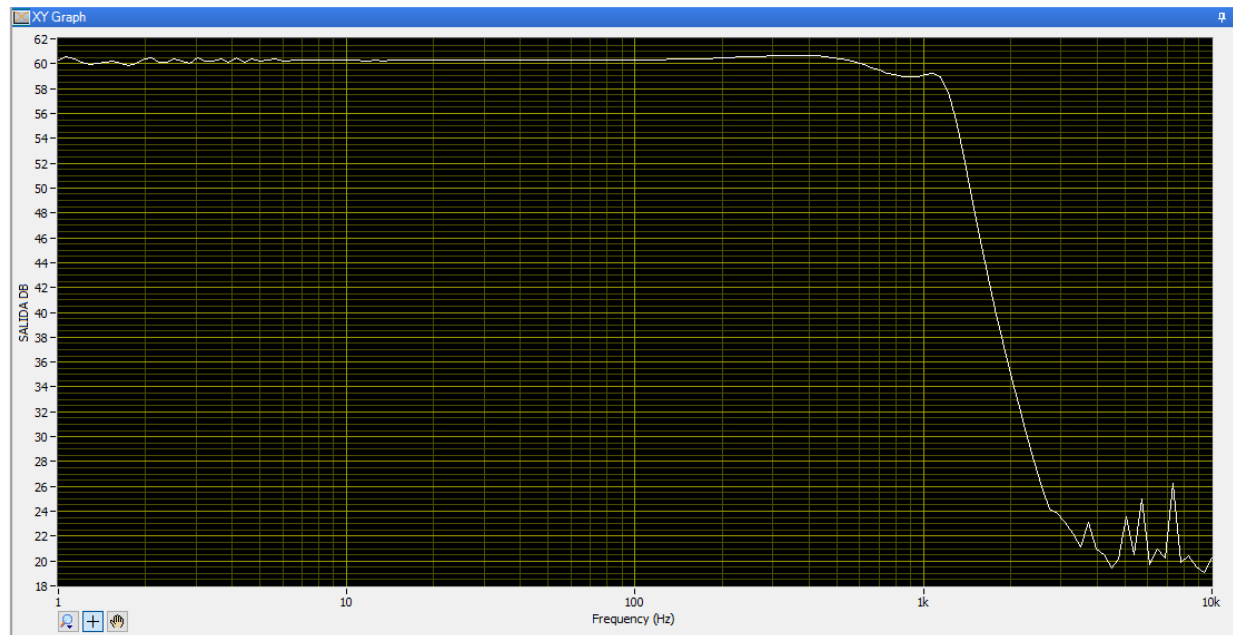


Ilustración 35} Diagrama de bode galga extensiométrica para observar la caída el Db.

Los resultados obtenidos son altamente satisfactorios, se observa que el circuito funciona con una ganancia constante de 60 dBs, hasta que se satura un poco después de 1 kHz. Los resultados indican que la amplificación y el filtro están funcionando tal y como se diseñaron.

b. Acelerómetro y geófono

Se le alimento un barrido AC con 1 V, desde 1 Hz hasta 10k Hz:

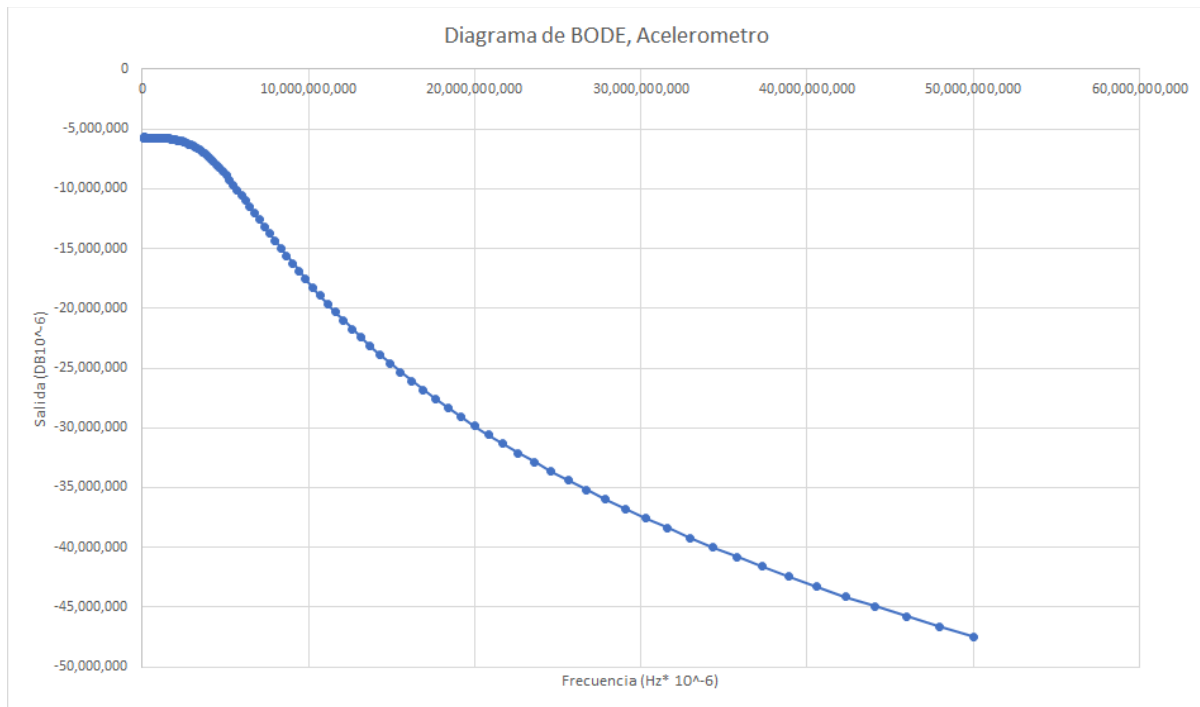


Ilustración 36: Diagrama de bode geófono y acelerómetro

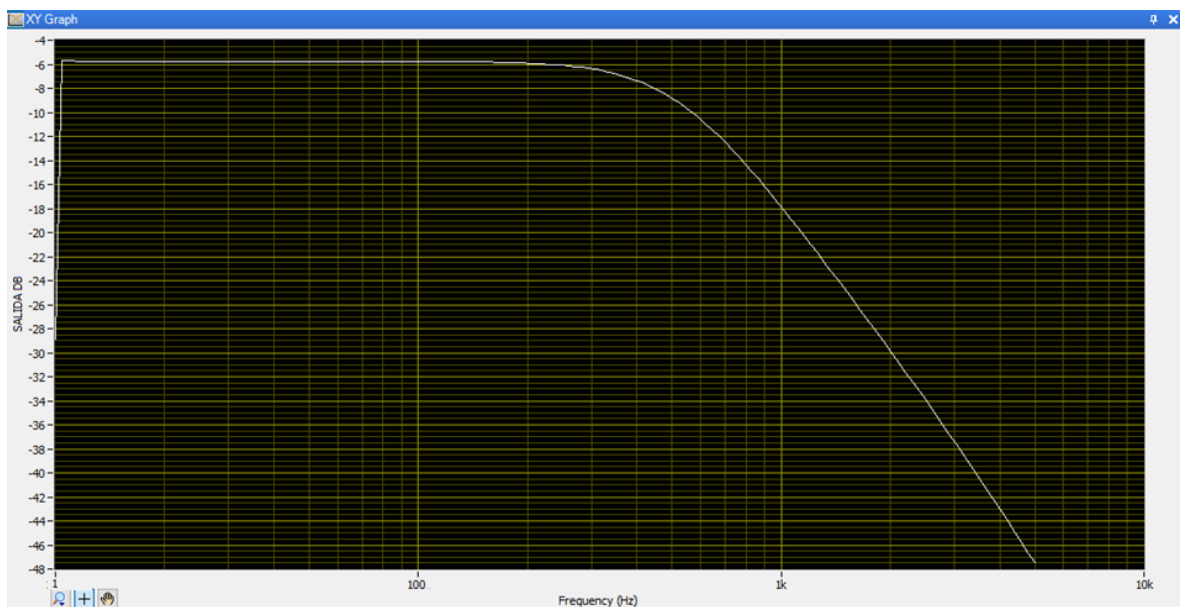


Ilustración 37: Diagrama de bode geófono y acelerómetro

Se observa una ganancia constante de -5.5 dBs aproximadamente, extremadamente cercano a los -5.3 obtenidos en la ganancia y los -5 dBs para el que se diseñó. La señal se empieza a saturar un poco antes de los 1 kHz, aproximadamente 890 Hz, por lo cual podemos concluir que este circuito también está funcionando de manera correcta

Conversión análoga-digital e impresión modulo serial

```
else if (Conteo_ADC == 1){
    __delay_us(1);
    TMR2_Start();
    ADCC_StartConversion(channel_ANA2);
}
```

Ilustración 38: funcion ADC por sensor

Para el proceso de conversion análogo digital se utilizó el sistema ADC del PIC, el cual nos permitió digitalizar las señales análogas a una frecuencia suficientemente alta para la solución requerida.

```
void Enviar_Sensores() {
    TX1REG = unidad + 48;
    while (TXSTAbits.TRMT == 0);
    TX1REG = 46;
    while (TXSTAbits.TRMT == 0);
    TX1REG = decena + 48;
    while (TXSTAbits.TRMT == 0);
    TX1REG = centena + 48;
    while (TXSTAbits.TRMT == 0);
    TX1REG = 0x0A;
    while (TXSTAbits.TRMT == 0);
}
```

Ilustración 39: función envío por TTL

Se utilizó el modulo TTL para el envío de datos por medio serial, de esta manera se pueden obtener las siguientes graficas.

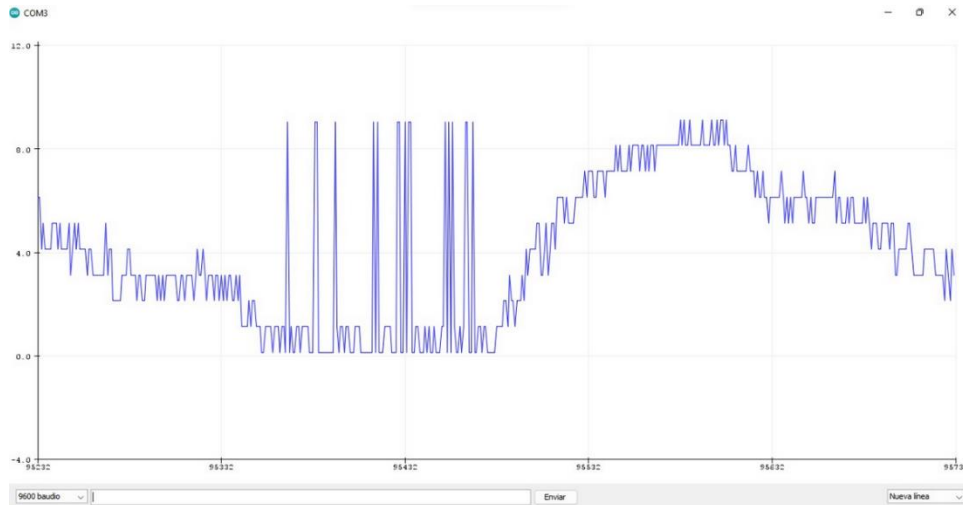


Ilustración 40: Respuesta serial galga

En la anterior grafica se observa la naturaleza de la galga, en donde se empieza haciendo una presión media y se aumenta esta, generando una reducción en el voltaje, se hace aún mas presión y se llega a un límite donde el sistema del sensor y el sistema de la galga generan valores altos, esto nos dará como resultado un error y por ende una restricción.

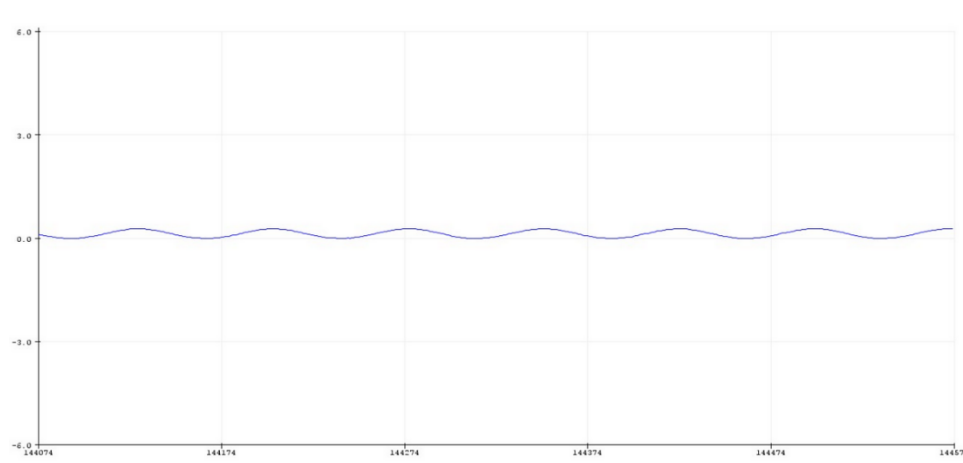


Ilustración 41: Respuesta serial Geofono

La figura anterior se observa el geófono con una frecuencia de 2 Hz.

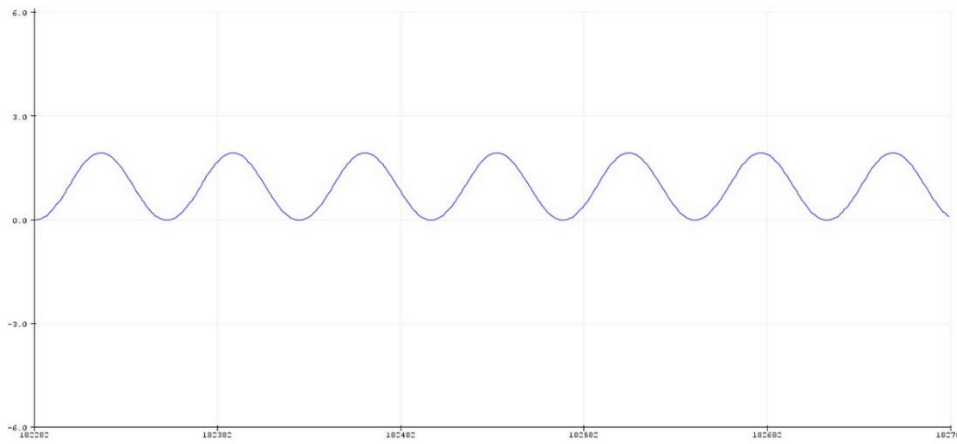


Ilustración 42: Respuesta serial acelerometro

Por último, el acelerómetro, con una amplitud mayor a 2hz

a - List (60 elements)

Ind	Type	Size	Value
0	str	3	07
1	str	6	0.08
2	str	6	0.08
3	str	6	0.08
4	str	6	0.08
5	str	6	0.13
6	str	6	0.11
7	str	6	0.09
8	str	6	0.08
9	str	6	0.08
10	str	6	0.08
11	str	6	0.08
12	str	6	0.08
13	str	6	0.08

Save and Close Close

Ilustración 43: datos sensor galga guardados

La imagen anterior se puede observar el uso de la memoria en Python como memoria externa, en este caso se guardó el primer sensor, la galga, en donde se van tomando los valores y se van ajustando a una matriz en Python, esta matriz puede ser después usada para hacer un análisis de datos en Python o puede ser exportada a un archivo .csv y usar estos datos en otras aplicaciones, además se hace uso de la nube con thingspeak para hacer un respaldo a la información y poder graficarlas y usar el api de thingspeak para hacer creación de aplicaciones o de páginas web.

A continuación, se pueden observar los resultados de nuestra conversión e impresión para dos casos diferentes:

Interfaz gráfica:

Para la interfaz gráfica se optó por implementar una aplicación y página web que permitiera al usuario poder visualizar los datos de los sensores. Esto se logró con la transmisión de datos por thingspeak que permite obtener datos cada intervalo de tiempo y graficar constantemente. La realización de esta aplicación-página web se hizo con el software ionic que permite la integración de HTML y Javascript. A continuación, se muestra las páginas que esta contiene:

Login / Registro:

Se trata de la primera página que aparece al acceder a la aplicación. Se construyó un sistema de registro y login con la base de datos de firebase que guarda los datos de acceso a la aplicación del usuario que se registra, esta información es encriptada en la base de datos de firebase lo que garantiza seguridad al usuario de su información personal. También las bibliotecas de firebase permiten la integración con Gmail lo que nos facilitó colocar un método de acceso con Gmail sin necesidad por parte del usuario de registrarse.

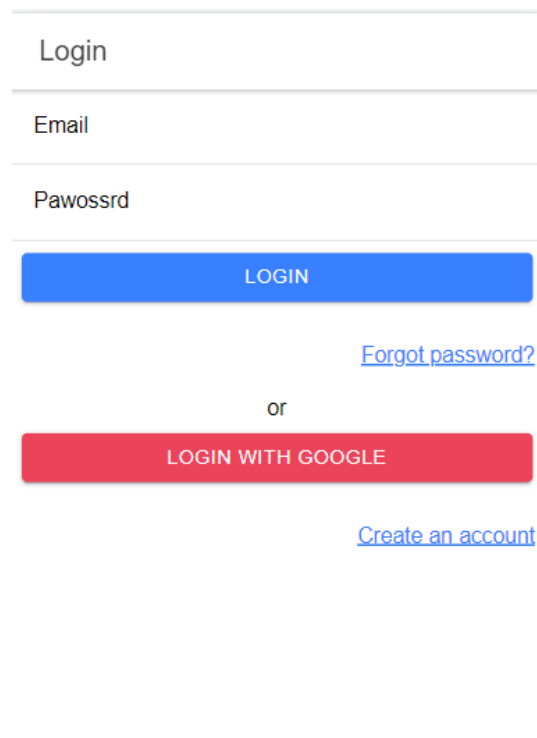
The image shows a login interface within a white container. At the top, the word "Login" is centered in a grey font. Below it are two input fields: "Email" and "Password", both with grey placeholder text. A blue button labeled "LOGIN" is positioned below the password field. To the right of the button is a blue link that says "Forgot password?". Below this, the word "or" is centered. Underneath is a red button labeled "LOGIN WITH GOOGLE". At the bottom right, there is a blue link that says "Create an account".

Ilustración 44: interfaz log in app

Menú principal:

Se diseñó un menú principal estilo lista, este contiene 3 opciones y cada una dirige a una página en específico. A continuación, se muestra el diseño de esta.

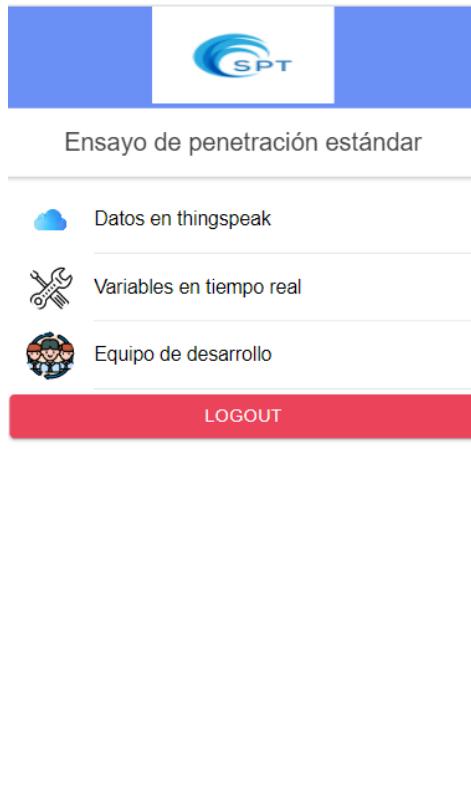


Ilustración 45: interfaz de inicio de la app

Datos en thingspeak:

En este hay un menú desplegable que puede acceder a los resultados de cada sensor y demuestra los resultados para cada variable física tal como se muestra de ejemplo:

Gráficas

GALGA

ACELEROMETRO

GEOFONO



Ilustración 46: Graficas en apps

Equipo de desarrollo:

En este se muestra información acerca del grupo de proyecto que diseñó el proyecto como también una breve descripción de este. Se plantea a futuro añadirle información de contacto para poder ofrecer mantenimiento al producto.



Ilustración 47: Interfaz de información de la app

Recursos, materiales y fuentes de financiación

Recursos

A disposición de los estudiantes se encuentran múltiples avenidas de investigación proporcionada por la Pontificia Universidad Javeriana, como podrían ser Papers que se encuentra en las bases de datos IEEE o libros físicos presentes en las múltiples bibliotecas del campus universitario.

Datasheets de los elementos del sistema como el sensor y demás pueden ser encontrados en la web, para de esta manera tener mayor claridad como se comportará el circuito. la Universidad también nos presenta software y hardware para realizar el proyecto: software de simulación y diseño de circuitos como Signal sprees, Pspice y Altium, y gran cantidad de elementos de medición y generación presentes en los laboratorios del piso 12 del edificio José Gabriel Maldonado (Generadores de onda, Osciloscopios, Fuentes de energía, DVMs, módulos de comunicación, etc.), los cuales nos permitirán observar de manera precisa cómo se comporta el circuito en un ambiente real.

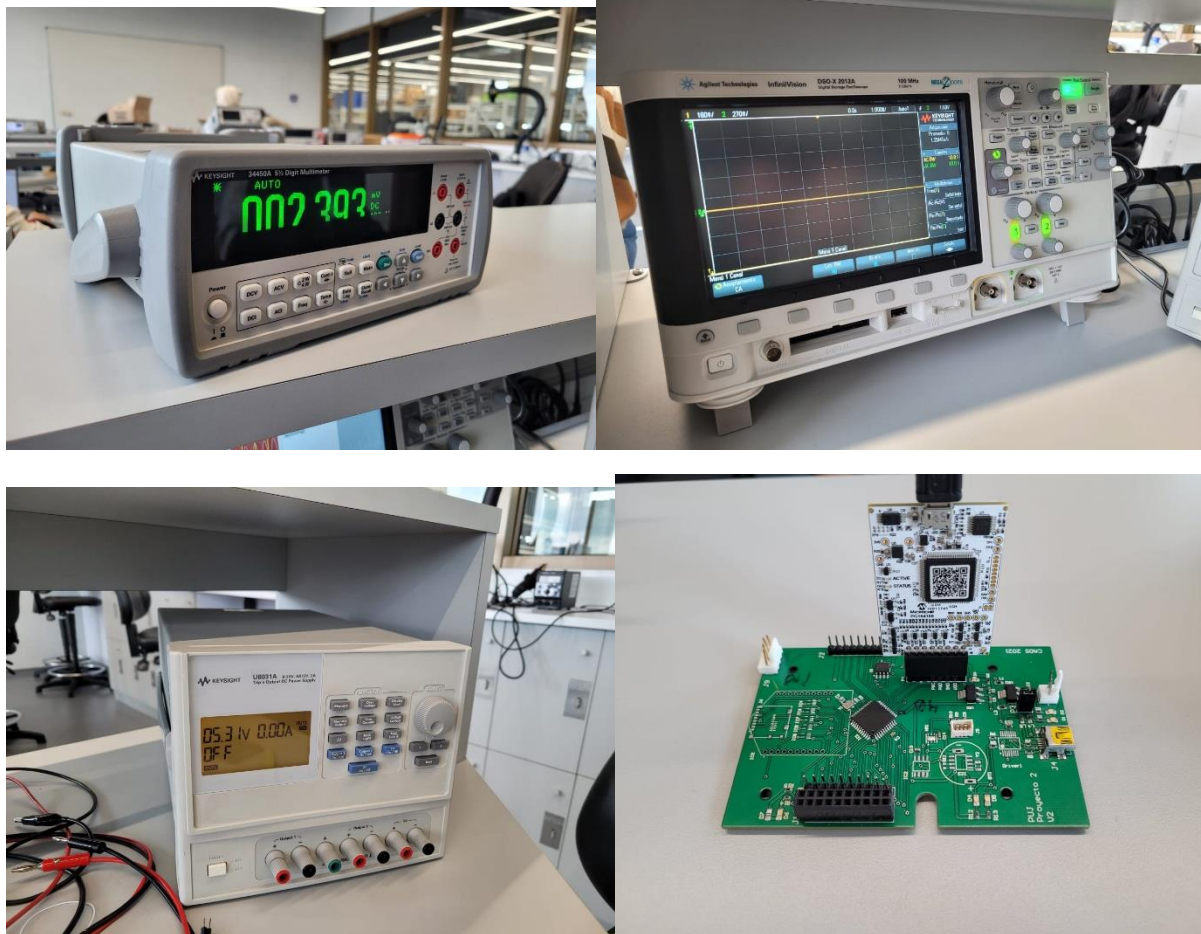


Ilustración 48: Recursos proporcionados por la universidad

DESARROLLO CODIGO

1: En primer lugar, tenemos la declaración de las variables del código principal “main.c” las cuales las utilizamos para grande parte del programa en general, A continuación, tenemos el complemento del código principal junto a cada línea se encuentra su respectiva su explicación.

```

////////////////////VARIABLES GLOBALES////////////////////////////////////
long Valor_ADC;
char Ax, Ay, Hum, Vib; //Datos ya tratados para enviarse al serial
char Ax_adc, Ay_adc, Hum_adc, Vib_adc ; //Resultados del adc que entran en las
//funciones de conversion
int Conteo_ADC, cont; // contador para cambiar el source del ADC
int unidad, decena, centena; // salida para UART de cada sensor
char ID; //Variable para la transmisión del identificador
////////////////////////////////////FUNCIONES UTILIZADAS////////////////////////////////////
void Interrupcion_S(void);
void Enviar_Sensores(void);
char Identificador(int);
void BCD(long);

```

```
Valor_filtro = filtrarFIR(Valor_ADC);  
BCD(Valor_filtro);  
Enviar_Sensores();  
Conteo_ADC++;  
TMR2_Stop();  
TMR2_WriteTimer(0);
```

2: Para el envío a thingspeak y el uso de almacenamiento local, se hizo uso de la herramienta python, en donde se usaron librerías para hacer la lectura del puerto serial y activar el envío de datos a thingspeak por medio de un api.

```
while 1:  
    trama1=ser.readline().decode("ascii")  
    TESTDATA = StringIO(trama1)  
    if contser==1:  
        DatosThing["field1"]=trama1  
        a.append(trama1)  
        print(trama1)  
        cont1=cont1+1  
        contser=2  
    else:  
        if contser==2:  
            DatosThing["field2"]=trama1  
            b.append(trama1)  
            contser=3  
            #df['Filtro2'].concat(trama1)  
            print(trama1)  
            cont2=cont2+1  
        else:  
            if contser==3:  
                DatosThing["field3"]=trama1  
                c.append(trama1)  
                contser=1  
                #df['Filtro3'].concat(trama1)  
                print(trama1)  
                cont3=cont3+1  
    contre=contre+1  
    if contre==3:  
        reqThingHV=r.post(URL_THING,data=DatosThing)  
        print(reqThingHV.text)  
        contre=1
```

CONCLUSIONES

- El ruido es uno de los principales factores a resaltar dado que en el proyecto al usar el acelerómetro y geófono se observó un alto nivel de ruido sin embargo con el uso de un condensador esto se pudo disminuir. Aun así, se podía evidenciar ruido dado a diferentes factores así mismo debemos tener en cuenta que para estos dos presentan una frecuencia de corte baja y así mismo son más sensibles dada las características de los componentes.
- El sobre muestreo no se tomó mucho en cuenta, ya que la aplicación actual implica cambios muy leves en los datos.
- Los sensores maneja cambios extremadamente lentos tenemos solo señales que oscilan en bajas frecuencias y es por esto por lo que se decide hacer un filtro pasa bajos con la intención de evitar interferencias de ruido.

Referencias

- [1] “**Miniature Load Cell TAL220B**” - Datasheet, 2022. [Online]. Available: <https://cdn.sparkfun.com/assets/e/5/f/5/6/TAL220B.pdf>
- [2] “**Piezoresistive accelerometer Model 7264C**” - Datasheet, 2022. [Online]. Available: https://endevco.com/contentstore/mktgcontent/endevco/datasheet/7264c_ds_083019.pdf
- [3] “**Strain and Acceleration Sensors**” – for high strain dynamic foundation testing and other applications, 2022. [Online]. Available: <https://www.pile.com/download/brochure/english-sensors.pdf>
- [4] “**GEOFONO ANALYZER**” – Product page, 2019. [Online]. Available: <https://www.egl-geo.com/productview/high-sensitivity-geophone/211103161CdsW.html>
- [5] “**Use of Vertical Sounding (VES) Method as an Alternative to Standard Penetration Test (SPT)**” – investigation paper, 2012. [Online]. Available: [https://www.semanticscholar.org/paper/Use-of-Vertical-Electrical-Sounding-\(VES\)-Method-As-Syed-Siddiqui/4950ee99942beca27fe407996cc1c55f48067a36](https://www.semanticscholar.org/paper/Use-of-Vertical-Electrical-Sounding-(VES)-Method-As-Syed-Siddiqui/4950ee99942beca27fe407996cc1c55f48067a36)
- [6] “**Vertical Electrical Sounding (1D VES)**” –Scientific article, GeoScience, 2012. [Online]. Available: <http://geoscience-eg.com/vertical-electrical-sounding-1d-ves/>
- [7] “**Obtención de la rigidez dinámica del suelo a partir de la medición de la energía transferida en el ensayo de penetración estándar (SPT)**” –Trabajo de Grado de Nicolas Echeverri Pinto, Pontificia Universidad Javeriana, 2008. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7228/tesis429.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] “**Pruebas Dinámicas de Capacidad de Carga de Pilotes (PDA)**” –Scientific article, Jeoprobe, 2012. [Online]. Available: http://www.jeoprobe.com/servicio_pilotes_pda.html