
Diseño, Construcción e Implementación de un Sismómetro *Open-Source* para Entornos Educativos:

Contribución a la Educación de Calidad y la Reducción de Riesgos
Naturales en el Marco de los ODS.

Presentado por:

Alaiur Beitia, Sergio Gómez Orts y Marina Vidal Sellés

Tutorizado por:

Herminia Pastor Pina

Proyecto final para el IV Concurso de Emprendimiento e Innovación.

Alicante, marzo 2025

Índice:

Índice:	1
Objetivos:	2
El cambio climático y la sismología:.....	3
La necesidad de la educación de calidad:.....	4
La implementación de métodos didácticos mediante la experimentación en áreas STEM:.....	5
Metodología:	7
Planteamiento inicial:.....	8
Diseño experimental:.....	10
Diseño y modelado 3D:.....	12
Integración de software y montaje de hardware:.....	14
Pruebas experimentales:.....	16
Publicación de proyecto:.....	20
Resultados:	22
Análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad del sismómetro:.....	22
Análisis repetibilidad de datos del sismómetro:.....	24
Análisis y testeo en ambientes educativos reales del sismómetro:.....	25
Conclusiones:	28
Bibliografía:	29
Anexos:	30
Anexo 1, Recursos adicionales:.....	30
Anexo 2, Agradecimientos:.....	30
Anexo 3, Contacto:.....	31

Objetivos:

Todos conocemos la imperiosa necesidad de la acción contra el cambio climático. De esta acción surgen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un proyecto que pretende abordar los desafíos globales, incluyendo la pobreza, la desigualdad, la protección del planeta y asegurar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para 2030. Estos objetivos requieren nuestra atención y acción en múltiples frentes, incluido el ámbito educativo, donde es crucial equipar a las futuras generaciones con las herramientas y conocimientos necesarios para enfrentar estos desafíos.

Por ello, en este proyecto, analizaremos cómo afecta el cambio climático a la sismología de nuestra zona y desarrollaremos un Sismómetro *Open-Source*, para permitir una mejor educación en las áreas STEM. Nuestro enfoque será doble: primero, investigaremos los posibles vínculos entre el cambio climático y la actividad sísmica, considerando factores como el derretimiento de los glaciares, la variación del nivel del mar y la presión sobre las placas tectónicas. Segundo, nos centraremos en la creación de un Sismómetro accesible y de bajo costo que pueda ser utilizado en entornos educativos para mejorar la comprensión de los fenómenos sísmicos y fomentar el interés en las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM).

Este Sismómetro no solo será una herramienta educativa, sino también un recurso para la comunidad, contribuyendo al monitoreo local de la actividad sísmica y la concienciación sobre la importancia de la preparación ante desastres naturales.

El cambio climático y la sismología:

El cambio climático y los eventos sísmicos están interconectados de manera más compleja de lo que tradicionalmente se ha considerado. El calentamiento global, impulsado por el aumento de gases de efecto invernadero, no solo impacta la atmósfera y los océanos, sino también la geología terrestre. El derretimiento de glaciares reduce la presión sobre la corteza, generando un rebote isostático que puede reajustar las placas litosféricas y aumentar la actividad sísmica, como se ha observado en regiones como Alaska y el Himalaya.

Además, el aumento del nivel del mar ejerce presión adicional sobre las placas tectónicas, afectando su estabilidad y pudiendo incrementar la frecuencia y magnitud de los terremotos y tsunamis, como sugieren estudios en el Mediterráneo. La investigación de Forcellini (Forcellini, 2021) destaca que estos factores deben considerarse en la evaluación de la resiliencia sísmica de infraestructuras costeras, ya que la presión creciente sobre las placas puede comprometer su estabilidad y seguridad. Esto subraya la necesidad de integrar estrategias multidisciplinarias en la planificación urbana y la gestión de riesgos.

Asimismo, el cambio climático intensifica eventos extremos como lluvias torrenciales y sequías prolongadas, que pueden modificar las propiedades del suelo y desestabilizar fallas tectónicas. En el Mediterráneo español, la urbanización descontrolada y la falta de planificación agravan la vulnerabilidad de las comunidades ante estos fenómenos, aumentando el riesgo de inundaciones y alteraciones en la dinámica geológica.

La relación entre el cambio climático y la actividad sísmica tiene importantes implicaciones para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El ODS 13 enfatiza la necesidad de fortalecer la resiliencia climática y sísmica mediante infraestructura resistente y sistemas de alerta temprana. El ODS 11 aboga por la integración del monitoreo sísmico y climático en el diseño de ciudades sostenibles, mientras que el ODS 15 resalta la importancia de conservar ecosistemas para reducir la vulnerabilidad ante desastres naturales.

La necesidad de la educación de calidad:

La educación ambiental transforma la manera en que las personas perciben y se relacionan con su entorno, promoviendo una conciencia crítica y conductas sostenibles. Al comprender problemas como el cambio climático, la deforestación y la pérdida de biodiversidad, los estudiantes pueden identificar desafíos ambientales y participar activamente en su solución. Además de la teoría, la educación ambiental fomenta la aplicación práctica a través de actividades como la gestión de residuos, la conservación de recursos y la restauración de ecosistemas, inculcando hábitos sostenibles y un respeto por los recursos naturales.

El desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas es esencial dentro de la educación ambiental. Los estudiantes aprenden a analizar situaciones complejas y tomar decisiones informadas, lo que los capacita para liderar iniciativas de sostenibilidad. Esta formación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (ODS 4) de la ONU, que busca garantizar una educación inclusiva y de calidad, promoviendo el aprendizaje a lo largo de la vida y preparando a las personas para contribuir al desarrollo sostenible.

El ODS 4 resalta la importancia de la educación para el desarrollo sostenible, asegurando que todos los alumnos adquieran los conocimientos necesarios para mitigar los impactos ambientales. Iniciativas que incluyen estudios sobre cambio climático, biodiversidad y sostenibilidad económica y social permiten comprender las interacciones entre los sistemas naturales y humanos. Asimismo, el uso de herramientas tecnológicas, como sismómetros en proyectos educativos, ayuda a ilustrar cómo los fenómenos naturales afectan el entorno y cómo es posible monitorearlos para mitigar sus efectos.

En conjunto, la educación ambiental fortalece la formación académica y fomenta una ciudadanía consciente y comprometida con la protección del planeta. Preparar a las nuevas generaciones con una base sólida en sostenibilidad es clave para afrontar los retos ambientales y promover un futuro más equilibrado y resiliente.

La implementación de métodos didácticos mediante la experimentación en áreas STEM:

Los métodos didácticos basados en la experimentación en las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) juegan un papel fundamental en la educación, ya que no solo facilitan la comprensión de conceptos científicos, sino que también promueven habilidades esenciales como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas. En un mundo donde la tecnología avanza rápidamente y la demanda de profesionales en estos campos es cada vez mayor, es crucial que los estudiantes adquieran conocimientos de manera práctica y participativa, preparándolos para enfrentar los desafíos del futuro.

Uno de los principales beneficios de la enseñanza experimental en STEM es la capacidad de transformar la teoría en práctica. En lugar de aprender sobre fenómenos científicos de manera abstracta, los estudiantes pueden observarlos y analizarlos directamente a través de actividades prácticas. Este enfoque motiva a los estudiantes y hace que su aprendizaje sea más significativo.

El desarrollo de habilidades experimentales es clave en muchas áreas STEM, ya que permite a los estudiantes aprender a diseñar, ejecutar y analizar experimentos de manera autónoma. Al trabajar con equipos científicos, recopilar y procesar datos, y presentar resultados, los alumnos adquieren competencias que serán esenciales en su formación académica y profesional. La educación basada en la experimentación no solo mejora la retención del conocimiento, sino que también fomenta la capacidad de aplicar lo aprendido a problemas del mundo real.

Un ejemplo claro de cómo la tecnología puede enriquecer la educación STEM es el uso de Sismómetros open-source en las aulas. Estos dispositivos, que permiten registrar y analizar los movimientos de la Tierra, han sido tradicionalmente costosos y difíciles de operar. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, ahora es posible construir versiones accesibles con microcontroladores como Arduino, facilitando su integración en entornos educativos. Esto permite a los estudiantes estudiar la sismología de manera práctica, observando datos sísmicos reales y comprendiendo mejor los patrones de actividad sísmica.

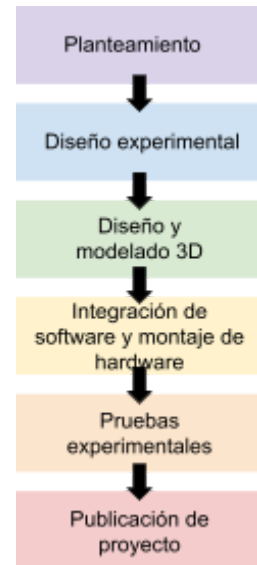
El uso de estos dispositivos en el aula ofrece múltiples beneficios. Por un lado, refuerza la comprensión de conceptos teóricos al permitir a los estudiantes interactuar con datos reales, haciéndolos más accesibles y comprensibles. Por otro lado, fomenta el desarrollo de habilidades en electrónica, programación y análisis de datos, competencias fundamentales en muchas disciplinas STEM. Además, la posibilidad de compartir los datos obtenidos con otras escuelas y centros de investigación convierte el aprendizaje en una experiencia colaborativa, acercando a los estudiantes a la realidad de la comunidad científica.

El aprendizaje basado en la experimentación también contribuye a que los estudiantes comprendan la importancia de la ciencia en la vida cotidiana y su impacto en la sociedad. En el caso de los Sismómetros open-source, su uso no solo tiene valor educativo, sino que también puede integrarse en redes de monitoreo sísmico, contribuyendo al desarrollo de sistemas de alerta temprana y a una mayor conciencia sobre la actividad sísmica. De este modo, la educación trasciende el aula y se convierte en una herramienta para el bienestar social y la prevención de desastres.

Por tanto, los métodos educativos basados en la experimentación en STEM son esenciales para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en estas disciplinas. Al proporcionar experiencias prácticas y accesibles, fomentan una comprensión más profunda de los conceptos científicos y desarrollan habilidades clave para el mundo moderno. La incorporación de tecnologías como los Sismómetros open-source en el aula demuestra cómo la innovación puede hacer que la educación sea más interactiva, motivadora y relevante, inspirando a las futuras generaciones de científicos, ingenieros y profesionales del ámbito tecnológico.

Metodología:

Para abordar el desarrollo y la implementación de nuestro sismómetro, hemos seguido una metodología estructurada en seis pasos fundamentales. Cada uno de estos pasos está diseñado para asegurar un enfoque sistemático y coherente, desde la conceptualización teórica hasta la publicación y aplicación práctica del proyecto. En la imagen de la derecha, se ilustran cada uno de los pasos que se han llevado a cabo.



El primer paso en nuestra metodología es la elaboración del planteamiento. En esta fase, se revisa la literatura existente sobre sismografía y la integración de tecnologías open-source.

Esta revisión bibliográfica nos permite contextualizar nuestro proyecto dentro del campo académico y educativo, identificando las teorías, conceptos y estudios previos que respaldan nuestra propuesta. Además, se abordan los principios científicos y técnicos subyacentes al funcionamiento de los Sismómetros, así como su relevancia educativa.

El diseño experimental constituye el segundo paso de nuestra metodología. En esta fase, planteamos exactamente las necesidades del proyecto, especificando los materiales requeridos y el resultado final deseado. Este paso es fundamental ya que establece las bases sobre las cuales se desarrollará todo el proyecto, asegurando que cada componente y recurso necesario esté identificado y planificado. Durante el diseño experimental, se determina el tipo de sensores que se utilizarán, las especificaciones del microcontrolador, los materiales para la construcción física del Sismómetro y el software necesario para su funcionamiento, entre otras cosas.

En el tercer paso, nos enfocamos en el diseño y modelado 3D del Sismómetro. Utilizando software de modelado tridimensional, creamos prototipos digitales del dispositivo. Esta etapa incluye la conceptualización del diseño físico del Sismómetro, la selección de materiales y componentes, y la creación de planos detallados para su fabricación.

El cuarto paso en nuestra metodología es la integración de software y montaje físico. En esta fase, desarrollamos y configuramos el software necesario para el funcionamiento del Sismómetro. Esto incluye la programación del microcontrolador (por ejemplo, Arduino), la implementación de algoritmos de procesamiento de datos sísmicos y la creación de interfaces de usuario para la visualización y análisis de datos. Además montamos todo el hardware necesario para que el sismómetro funcione correctamente.

Una vez completado el diseño y la integración de software, procedemos a las pruebas experimentales, el quinto paso de nuestra metodología. Estas pruebas se realizan para evaluar el rendimiento y la precisión del Sismómetro en condiciones controladas y reales. Se llevan a cabo experimentos para medir la sensibilidad del dispositivo a diferentes tipos de ondas sísmicas y para verificar la repetibilidad y fiabilidad de los datos obtenidos. Las pruebas experimentales permiten identificar posibles mejoras y ajustes necesarios para optimizar el funcionamiento del Sismómetro.

Finalmente, el sexto paso es la publicación del proyecto. En esta etapa, se documentan todos los aspectos del desarrollo del Sismómetro, desde el planteamiento inicial hasta los resultados de las pruebas experimentales. La documentación incluye manuales de usuario, guías de ensamblaje y configuración, así como el código fuente del software utilizado. La publicación del proyecto en plataformas open-source garantiza que otros educadores, investigadores y entusiastas puedan acceder a los recursos y replicar o mejorar el Sismómetro, promoviendo así la difusión del conocimiento y la colaboración en el ámbito educativo.

Planteamiento inicial:

La sismología es una rama de la geofísica que estudia los seísmos y los movimientos tectónicos de manera que se dedica al estudio de la propagación de las ondas sísmicas a través de la Tierra, principalmente la litosfera. Un instrumento fundamental en esta disciplina es el sismómetro, que permite registrar y analizar las vibraciones del suelo.

En este proyecto, hemos desarrollado un Sismómetro utilizando un sistema basado en un acelerómetro y una ESP8266 (variante de la más común ESP32), con el objetivo de captar y registrar las ondas sísmicas. A continuación, se describen las ideas y el proceso de investigación que nos llevó a la implementación de este dispositivo.

En la fase inicial del proyecto, consideramos la posibilidad de emplear láminas metálicas en cada eje espacial, usando por lo tanto tres láminas y tres acelerómetros. La hipótesis detrás de este planteamiento, se basa en que las láminas metálicas podrían amplificar las ondas vibratorias, facilitando así una detección más precisa y sensible de las vibraciones del suelo.

Sin embargo, tras una revisión más detallada y consultas con expertos, descubrimos que esta aproximación podría no ser efectiva. Las láminas metálicas, en lugar de amplificar las ondas de manera controlada, podrían introducir ruido y distorsiones, afectando negativamente la precisión del Sismómetro. Por lo tanto, buscamos otras ideas que pudieran adecuarse de mejor manera a nuestro proyecto.

Dado que la eficacia del uso de láminas metálicas estaba en duda, decidimos profundizar nuestra investigación. Nos dirigimos a la biblioteca de la universidad para buscar información sobre la construcción de Sismómetros y sus características fundamentales. Comprendimos mejor los componentes esenciales de un Sismómetro y cómo estos se utilizan para registrar ondas sísmicas. Exploramos las diferencias entre Sismómetros de corto y largo periodo, así como los distintos tipos de sensores empleados (péndulos, acelerómetros, etc.). También estudiamos en detalle cómo funcionan los acelerómetros, su sensibilidad, rango de medición y la importancia de la calibración para obtener datos precisos. Y para lograr datos aún más precisos analizamos métodos para filtrar y procesar las señales capturadas, eliminando ruido y mejorando la interpretación de los datos sísmicos.

Durante nuestras consultas en la universidad, también tuvimos la oportunidad de hablar con profesores y expertos en sismología. Sus consejos y sugerencias fueron cruciales para refinar nuestro enfoque y mejorar el diseño del Sismómetro.

Finalmente, decidimos enfocarnos en la implementación del Sismómetro utilizando un acelerómetro y una ESP8266, sin el uso de láminas metálicas. La ESP8266 nos permitió programar y manejar los datos del acelerómetro de manera eficiente, gracias a su capacidad de procesamiento y conectividad.

A continuación, se describe de manera detallada la funcionalidad de cada una de las partes, que consideramos usar.

Acelerómetro: Este dispositivo, nos permite capturar las vibraciones del suelo en tres ejes (X, Y, Z).

ESP8266: La placa microcontroladora ESP8266 procesa los datos del acelerómetro, los almacena y/o los transmite a un servidor o dispositivo externo para su análisis.

Software: Desarrollamos un software específico para filtrar y analizar las señales capturadas, permitiendo distinguir entre diferentes tipos de movimientos sísmicos.

El desarrollo de nuestro Sismómetro ha sido un proceso de aprendizaje continuo, en el cual nuestras ideas iniciales se han refinado y mejorado a través de la investigación y la consulta con expertos. La decisión de no utilizar láminas metálicas y enfocarnos en un sistema basado en acelerómetro y el microcontrolador ESP8266 ha resultado en un dispositivo más preciso y fiable. Este proyecto no solo nos ha permitido adquirir conocimientos técnicos sobre sismología y diseño de dispositivos, sino también la importancia de la investigación y el asesoramiento académico en el desarrollo de soluciones tecnológicas efectivas.

Diseño experimental:

El diseño experimental de nuestro proyecto de sismómetro se centra en establecer claramente las necesidades del proyecto, especificando los materiales requeridos y definiendo el resultado final deseado. Este diseño teórico incluye la planificación de la integración de hardware, el ensamblaje físico del sismógrafo y los mecanismos para asegurar su estabilidad y precisión.

Primero, ya conociendo los componentes principales necesarios para el sismógrafo, se diseñaron las conexiones que se usarían, mostradas en la ilustración 1 (Figure 1). El MPU6050, que combina un acelerómetro y un giroscopio, es crucial para la detección de movimientos sísmicos. La ESP8266 se seleccionó por su capacidad de procesamiento

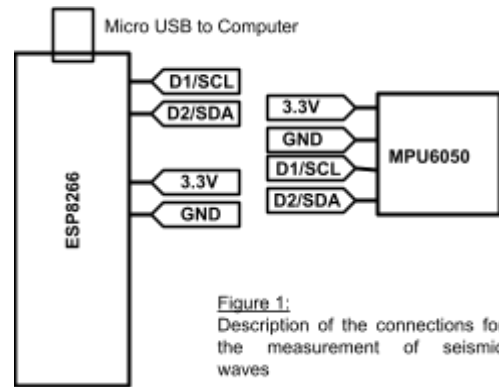


Figure 1:
Description of the connections for
the measurement of seismic
waves

y velocidad del mismo, lo que permite la transmisión de datos recopilados a una plataforma de análisis remoto de manera veloz y fiable.

La conexión entre el MPU6050 y la ESP8266 se planificó utilizando la interfaz de comunicación I2C. El MPU6050 tiene pines dedicados para SCL (línea de reloj) y SDA (línea de datos), los cuales se conectarán a los correspondientes pines en la ESP8266, además los pines de 3,3 V y GND se unirían entre el microcontrolador y el acelerómetro. Esta conexión permite una transferencia eficiente de datos entre el sensor y el microcontrolador, asegurando que las lecturas del acelerómetro sean precisas y en tiempo real.

Al estar conectados de manera constante el ordenador y el sismómetro, no existe una necesidad de incorporar un sistema de reloj interno, ya que la hora puede ser fácilmente obtenida del propio ordenador. Además, al intentar conectar simultáneamente el acelerómetro y el reloj, observamos que ambos utilizan los puertos I2C. Dado que la placa solo dispone de un puerto SCL y un puerto SDA, no es posible conectar ambos dispositivos simultáneamente sin el uso de expansores de puerto. Esta limitación nos llevó a la decisión de prescindir del sistema de reloj integrado, aprovechando la sincronización temporal proporcionada por el ordenador para simplificar el diseño y evitar complicaciones adicionales en el hardware.

Para mantener el sismógrafo en una posición horizontal y estable, se necesitaría un sistema de ajuste utilizando tornillos niveladores. Estos tornillos permitirían ajustar la inclinación del dispositivo de manera precisa, garantizando que el sismógrafo se mantenga nivelado independientemente de la superficie sobre la que se coloque. Para medir la inclinación se añadiría una burbuja nivel. Este mecanismo es esencial

para la exactitud de las mediciones, ya que cualquier inclinación podría introducir errores en la detección de movimientos sísmicos.

Además, se planificó el ensamblaje de todas las piezas del sismógrafo mediante insertos roscados termo insertados de métrica M5 y un largo de 8 mm. Estos insertos proporcionan una conexión fuerte y duradera entre los componentes, permitiendo una fácil desmontaje y reensamblaje si es necesario. El uso de insertos roscados también mejora la resistencia mecánica del ensamblaje, asegurando que todas las piezas se mantengan firmemente unidas durante el funcionamiento del dispositivo.

El resultado final deseado es un sismógrafo compacto, robusto y preciso, capaz de detectar y transmitir datos sísmicos de manera confiable. Este diseño teórico proporciona una base sólida para el desarrollo y construcción del sismógrafo, garantizando que todos los aspectos del hardware y el ensamblaje estén cuidadosamente planificados y optimizados para su uso en entornos educativos.

Diseño y modelado 3D:

En la fase de modelado 3D, se diseñaron e imprimieron dos componentes esenciales para el ensamblaje del sismógrafo, utilizando *PLA+* y una impresora *Ender 3*. Este proceso permitió crear piezas personalizadas y adaptadas a las necesidades específicas del proyecto, asegurando tanto la funcionalidad como la durabilidad del dispositivo en entornos educativos.

El primer componente es la base del sismógrafo. Esta pieza fundamental alberga el microcontrolador y el acelerómetro, componentes críticos para la detección y el registro de la actividad sísmica. La base también incluye tornillos de balanceo anteriormente mencionados. La base cuenta con dos orificios: uno destinado a la conexión del cable micro USB, que permite la alimentación y comunicación de datos con el microcontrolador.

El segundo componente es la tapa del sismógrafo. Esta pieza fue diseñada no solo para proteger los componentes internos del dispositivo, sino también para facilitar su

manipulación y uso. La tapa incluye un mango, también impreso en 3D, que permite un manejo seguro y cómodo del sismógrafo, especialmente durante su transporte o ajustes in situ. Además, la tapa está equipada con una burbuja de nivel, una herramienta simple pero vital para asegurar que el sismógrafo esté perfectamente horizontal. Esta nivelación es indispensable para obtener datos precisos, ya que cualquier inclinación podría afectar la detección y registro de las ondas sísmicas.

El diseño de estos componentes fue cuidadosamente planificado para maximizar la eficiencia y la facilidad de uso del sismógrafo utilizando la plataforma gratuita *Tinkercad*. La impresión en *PLA+* con la *Ender 3* procesada mediante el programa *Cura* ofreció una alta precisión en la fabricación de las piezas, garantizando que cada componente encaje perfectamente y funcione según lo previsto. Este material fue elegido por su durabilidad y resistencia, lo cual es especialmente importante en un entorno educativo donde el dispositivo puede ser manipulado frecuentemente.



Ambas piezas fueron ensambladas utilizando tornillos de métrica M5 y una longitud de 8 mm. La presión ejercida por los tornillos asegura que las piezas queden sólidamente sujetas entre sí. Para garantizar una correcta unión entre la base y la tapa, se añadió una pequeña cinta de goma eva a modo de sello, proporcionando un cierre cerrado y evitando la entrada de polvo o humedad. El resultado final, que se muestra en la imagen

mostrada a la izquierda, fue pintado en color negro y se añadieron los componentes electrónicos necesarios, completando así el ensamblaje del sismógrafo con un acabado profesional y funcional.

La integración de estos componentes impresos en 3D proporciona una solución robusta y eficiente para la construcción del sismógrafo. Además de facilitar la construcción y mantenimiento del dispositivo, este enfoque asegura que el sismógrafo sea lo suficientemente resistente para soportar el uso regular en aulas y laboratorios. Este diseño modular también permite futuras actualizaciones o

modificaciones, adaptándose a nuevas necesidades o mejoras tecnológicas sin requerir una reconstrucción completa del dispositivo.

Integración de software y montaje de hardware:

El desarrollo de este proyecto se inició con la implementación de un código en C++ utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE, específicamente orientado al manejo del ESP8266 en conjunto con el módulo MPU6050. Durante la fase de programación se identificó un desafío técnico significativo: la imposibilidad de incorporar un reloj real (RTC) al ESP8266, ya que la limitación del hardware se traduce en la existencia de una única conexión I2C. Esta restricción resulta problemática, dado que el bus I2C se destina a la comunicación con el módulo MPU6050, el cual es fundamental para la adquisición de datos a una velocidad de hasta 450 Hz. Esta alta frecuencia de muestreo permite la detección de movimientos sísmicos con una precisión y una resolución notables, ya que cada lectura representa un fragmento del comportamiento dinámico del entorno. La ausencia de un RTC en el microcontrolador complica la sincronización de datos en tiempo real, sin embargo, al conectar el sismógrafo a un ordenador se puede adquirir la referencia temporal directamente desde el sistema anfitrión, lo que evita la necesidad de emplear módulos de expansión de puertos I2C para el reloj.

El código desarrollado en C++ se encarga de gestionar la comunicación con el MPU6050 y la transmisión de datos mediante protocolos compatibles con el ESP8266. Se implementaron rutinas optimizadas para capturar y procesar los datos del acelerómetro de manera simultánea, aprovechando al máximo la capacidad del microcontrolador para alcanzar una tasa de muestreo hasta 450 Hz. Este rendimiento excepcional es crucial para la detección de sismos, ya que permite captar incluso las variaciones más sutiles en la vibración del suelo. La eficiencia del procesamiento en el lado del microcontrolador se vio reforzada mediante la minimización de latencias en la lectura del sensor y en la transferencia de datos, asegurando que la integridad y la temporalidad de la información se mantuvieran intactas durante todo el proceso.

Paralelamente, se desarrolló una interfase gráfica mediante Python, apoyándose en bibliotecas robustas como *NumPy*¹ y *Matplotlib*², entre otras, que facilitan la manipulación, visualización y análisis de grandes volúmenes de datos. Este componente de software fue diseñado para procesar en tiempo real la alta tasa de adquisición del MPU6050, permitiendo que cada una de las lecturas sea graficada de manera precisa. La utilización de *NumPy* garantiza que los datos se manejen de forma eficiente a nivel matricial, mientras que *Matplotlib* ofrece herramientas avanzadas para la representación gráfica, lo que permite visualizar patrones, tendencias y anomalías en las señales captadas. De este modo, el sistema no solo registra los datos de vibración, sino que también los interpreta y los muestra en un formato comprensible, facilitando el análisis y la identificación de eventos sísmicos con alta precisión.

En la parte física del proyecto se requirió un meticuloso proceso de integración de componentes electrónicos y mecánicos. Inicialmente, se soldó el módulo ESP8266 al MPU6050, asegurando conexiones firmes y fiables en los pines correspondientes para garantizar una transmisión óptima de los datos. Este proceso de soldadura fue fundamental para reducir interferencias y asegurar la integridad de la señal, especialmente en un entorno donde la velocidad y la precisión son cruciales. Posteriormente, se procedió al postprocesamiento del modelo 3D, previamente impreso, en el que se llevó a cabo un lijado minucioso para eliminar las rugosidades superficiales que pudieran afectar tanto la estética como la funcionalidad del dispositivo. Finalmente, se aplicó una capa de pintura negra en aerosol, la cual no sólo proporcionó una apariencia uniforme y profesional, sino que también contribuyó a la protección del dispositivo frente a factores ambientales.

Esta integración de hardware y software, junto con el procesamiento y la optimización de cada uno de los componentes, resalta la complejidad del proyecto y la necesidad de un enfoque multidisciplinario para superar las limitaciones inherentes al diseño. El manejo del bus I2C para múltiples dispositivos, la gestión de altas tasas de muestreo y la posterior visualización de datos en tiempo real representan desafíos técnicos significativos, los cuales han sido abordados con soluciones innovadoras y precisas. La alta velocidad de adquisición de datos y la

¹ <https://numpy.org>

² <https://matplotlib.org>

capacidad de graficarlos en tiempo real constituyen logros fundamentales que demuestran la viabilidad del uso del ESP8266 y el MPU6050 en aplicaciones de monitoreo geofísico, proporcionando una herramienta robusta y precisa para la detección y el análisis de movimientos sísmicos.

Pruebas experimentales:

Análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad del sismómetro:

El experimento se diseñó para evaluar la capacidad del sismómetro en la detección y análisis de ondas superficiales de baja intensidad. La hipótesis subyacente era que, a través de un procedimiento controlado, se podría determinar el rango de sensibilidad del instrumento en condiciones simuladas de sismicidad de baja magnitud. Para ello, se utilizó un método experimental basado en la liberación controlada de una pesa, que al caer al suelo generaba una perturbación mecánica reproducible. La elección de una pesa de 20 Kg se fundamentó en la necesidad de inducir una respuesta que estuviese en el límite inferior de la capacidad de detección del sismómetro, de manera que se pudiese cuantificar con precisión su sensibilidad y establecer parámetros de calibración que permitieran optimizar el rendimiento del dispositivo en situaciones de monitoreo real.

El procedimiento experimental consistió en dejar caer la pesa desde una altura predeterminada, de modo que la energía potencial acumulada se transformara en energía cinética, provocando una liberación repentina de energía al impactar contra el suelo. Este impacto, cuidadosamente medido, generaba ondas superficiales cuya amplitud y forma eran registradas en tiempo real por el sismógrafo. Para garantizar una recolección de datos precisa y representativa, la pesa fue posicionada a diversas distancias del sismógrafo, permitiendo variar tanto la intensidad como el tiempo de propagación de las ondas. La realización de tres repeticiones para cada posición establecida fue fundamental para asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos, minimizando la incidencia de variaciones atribuibles a condiciones ambientales o a posibles errores en el procedimiento experimental.

La metodología adoptada permitió no solo observar la respuesta del sismómetro ante impactos controlados, sino también estudiar la atenuación de la señal en función de la distancia. Cada caída proporcionó información valiosa sobre cómo se modifica la amplitud de la perturbación a medida que las ondas se propagaban por el medio, influenciadas por la composición y características del terreno. Este análisis detallado fue crucial para determinar la capacidad del instrumento de detectar eventos de baja magnitud y, por consiguiente, evaluar su utilidad en aplicaciones prácticas como la detección temprana de movimientos sísmicos.

Asimismo, la reproducibilidad de los resultados, garantizada por la repetición sistemática de las pruebas, permitió llevar a cabo un análisis estadístico robusto que identificó patrones consistentes en la respuesta del sismómetro. La comparación entre las diferentes repeticiones evidenció una variabilidad tanto intrínseca como extrínseca en las señales registradas, lo cual aporta información esencial sobre la precisión y la estabilidad del instrumento bajo condiciones experimentales controladas. Esta rigurosidad metodológica es fundamental en el campo de la sismología, donde la exactitud en la detección de pequeños eventos sísmicos puede marcar la diferencia en el desarrollo de estrategias de mitigación y respuesta ante potenciales desastres naturales.

La fuerza aplicada, derivada de la caída controlada de la pesa, permitió simular eventos sísmicos de baja intensidad, ofreciendo un marco experimental en el que se pudieron analizar las características dinámicas de las ondas superficiales. Dichas características varían significativamente en función de la distancia y de las condiciones de interacción con el terreno, lo cual se reflejó en un espectro de datos que abarcó tanto la disminución de la amplitud de la señal con el aumento de la distancia, como la fidelidad en la reproducción de la forma de la onda. Estos parámetros son esenciales para determinar la eficacia del sismómetro en el contexto de aplicaciones prácticas, permitiendo evaluar su capacidad para identificar con precisión eventos de baja magnitud que, en condiciones reales, podrían pasar desapercibidos sin una instrumentación adecuada.

El análisis integral de la experimentación no solo permitió establecer un rango de sensibilidad para el sismómetro, sino que también ofreció una perspectiva detallada

sobre las limitaciones y potenciales mejoras del sistema de detección. La correlación entre la altura de caída, la distancia al sismógrafo y la forma de la señal registrada constituyó un aporte significativo para la optimización de futuras calibraciones y para la implementación de protocolos de medición en situaciones de monitoreo sísmico.

Análisis de repetibilidad de datos:

Este procedimiento experimental busca evaluar la estabilidad y consistencia del sismógrafo al registrar impulsos generados por la caída controlada de una pesa de 20 kg, llevándose a cabo en un entorno que fue escogido por sus condiciones que permiten ensayar la instrumentación en un escenario de la vida real. La metodología comenzó con la determinación precisa de la altura desde la cual se liberaría la pesa, utilizando equipos de medición de precisión para asegurar que cada ensayo se realizara bajo parámetros idénticos.

El dispositivo de liberación fue sincronizado de forma precisa con el sistema de adquisición de datos del sismógrafo, permitiendo una correlación exacta entre el momento de liberación y el instante en que se detecta el impacto. Durante esta prueba se incluyó la supervisión de condiciones de vibración ambiental, variaciones térmicas y otros posibles estímulos del entorno, los cuales fueron documentados para su análisis en etapas posteriores y para poder diferenciar, en la medida de lo posible, la respuesta del sismógrafo a la perturbación generada por la pesa de aquella originada por factores ambientales.

La dinámica de la prueba se basa en la conversión de la energía potencial en energía cinética durante la caída libre de la pesa, culminando en el impacto contra el suelo, donde la energía se transfiere al sustrato generando ondas sísmicas.

El diseño experimental contempló la repetición de la caída en una serie de ensayos consecutivos, lo que permitió obtener una base de datos robusta para analizar la repetibilidad de los registros del sismógrafo. Cada lanzamiento se ejecutó con la mayor uniformidad posible, y se tomaron medidas para que el procedimiento fuese replicable, documentándose meticulosamente cada detalle: desde la configuración inicial de la pesa, hasta la sincronización de los equipos de medición y las

condiciones ambientales presentes durante la prueba. Esta documentación es esencial para validar el método y para permitir que otros investigadores puedan reproducir el experimento en contextos similares, evaluando la capacidad del sismógrafo para registrar de forma consistente las perturbaciones inducidas en un entorno.

Análisis en clase:

Esta prueba se fundamenta en un proceso activo y colaborativo en el que los alumnos participan directamente en la construcción del sismómetro, mientras que los profesores de geología lo utilizan como herramienta didáctica para ilustrar los conceptos básicos de la sismología. En primer lugar, el alumnado se involucra en el montaje del dispositivo, integrando componentes como el microcontrolador ESP8266, el acelerómetro MPU6050 y las piezas impresas en 3D, lo que les permite aplicar conocimientos de electrónica, programación y diseño digital. Durante la fase de construcción, los estudiantes aprenden a interpretar esquemas técnicos, a soldar conexiones y a programar el microcontrolador con código en C++ para la adquisición de datos, fortaleciendo habilidades prácticas esenciales en el ámbito de la ingeniería y la informática.

Una vez construido el sismómetro, el experimento transita hacia su aplicación en el aula, donde los profesores de geología emplean el dispositivo para explicar de forma tangible y dinámica los principios de la sismología. Gracias a la capacidad del sismómetro para detectar y registrar movimientos sutiles, se puede simular y analizar en tiempo real cómo se propagan las ondas sísmicas a través del suelo. Este enfoque práctico facilita la comprensión de fenómenos abstractos, permitiendo que los alumnos observen cómo se comportan las ondas sísmicas y comprendan conceptos como la aceleración, la frecuencia y la magnitud de los movimientos.

Además, el uso del sismómetro en clase fomenta el aprendizaje interdisciplinario, ya que los estudiantes integran conocimientos teóricos y prácticos de diversas áreas, desde la física y la geología hasta la programación y la electrónica. La retroalimentación inmediata que ofrece la visualización de datos en tiempo real permite a los profesores adaptar sus explicaciones en función de las observaciones experimentales, lo que enriquece la discusión en el aula y promueve una mayor

participación del alumnado. Todo esto culmina en una experiencia educativa integral que potencia la comprensión de la sismología a través de la construcción y el uso de una herramienta tecnológica, favoreciendo el aprendizaje activo y la integración de conocimientos en distintas disciplinas.

Publicación de proyecto:

La publicación del proyecto en GitHub representa una estrategia integral de difusión y colaboración en el ámbito de la investigación y la educación. GitHub es una plataforma de desarrollo colaborativo basada en el sistema de control de versiones Git, que permite a cualquier persona interesada acceder al código fuente, revisarlo, modificarlo y contribuir a su mejora de manera transparente y ordenada. Esto significa que el proyecto, no solo se presenta como un conjunto de archivos, sino como un recurso dinámico en el que se fomenta la participación activa de la comunidad, lo que resulta fundamental para el avance del conocimiento y la tecnología. Así como otras contribuciones y versiones del código pueden ser añadidas por los alumnos.

El repositorio en cuestión ofrece una visión completa del proyecto, en el que se combinan aspectos tanto del hardware como del software. En cuanto al hardware, se puede observar que el diseño está pensado para ser modular y accesible, incorporando componentes como el acelerómetro MPU6050 y el microcontrolador ESP8266, que se integran a través de una interfaz I2C. Además, se dispone de modelos en 3D (en formato STL) que permiten la fabricación de las piezas necesarias mediante impresión 3D, lo que reduce costos y abre la posibilidad de replicar el sismógrafo en distintos entornos educativos. Por otro lado, el software se divide en dos partes fundamentales: un programa en C++ que se ejecuta en el microcontrolador y que se encarga de la captura y filtrado de los datos del sensor, y un programa en Python que permite la visualización y análisis en tiempo real de dichos datos. Esto demuestra la versatilidad del proyecto y su potencial para ser utilizado en la enseñanza de conceptos de geología, electrónica y programación.

Publicar el proyecto en GitHub, además de facilitar el acceso y la descarga, propicia un entorno colaborativo donde cualquier interesado puede proponer mejoras, detectar y corregir errores, o incluso adaptar el código a nuevos fines. La utilización

de la licencia MIT refuerza este carácter abierto y colaborativo, ya que permite a terceros utilizar, modificar y redistribuir el trabajo sin restricciones excesivas, promoviendo así una cultura de libre acceso y colaboración en la comunidad científica y tecnológica. La transparencia y la posibilidad de revisión por pares son elementos cruciales en la investigación, pues permiten validar métodos y resultados, garantizando que el conocimiento producido es verificable y reproducible.

La elección de GitHub como medio de publicación no es accidental; se trata de una herramienta que ha transformado la manera en la que se comparte el conocimiento en el ámbito del software y la tecnología. La plataforma no solo ofrece control de versiones, lo que permite rastrear la evolución del proyecto y mantener un registro de cada cambio, sino que también facilita la interacción mediante issues, pull requests y comentarios, herramientas que son esenciales para la discusión técnica y la resolución colaborativa de problemas.

Desde una perspectiva educativa, la disponibilidad del proyecto en GitHub permite que otros centros educativos puedan replicar, comparar o extender los experimentos realizados con el sismógrafo, lo cual es vital en el aprendizaje. Al poder acceder al código fuente y a la documentación detallada (incluyendo un manual de uso en PDF y archivos explicativos), los alumnos tienen la oportunidad de estudiar minuciosamente la metodología utilizada, desde la captura de datos hasta su análisis y visualización. Este nivel de transparencia fortalece la confianza en la validez de los experimentos y abre la puerta a nuevas colaboraciones y desarrollos derivados.

La publicación y utilización de este proyecto en GitHub brinda a los alumnos una oportunidad única para aprender de manera práctica y multidisciplinaria. Al acceder al código fuente, a los esquemas electrónicos y a la documentación asociada, los estudiantes pueden explorar los fundamentos de la programación en C++ y Python, aprender a interactuar con sensores y microcontroladores, y comprender los principios de la electrónica aplicada a la captación de datos en tiempo real. Además, el proyecto les permite acercarse a conceptos geológicos y sismológicos, evidenciando cómo la tecnología se integra en la medición y análisis de fenómenos naturales.

Resultados:

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos del análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad. Este estudio es crucial para evaluar la capacidad del dispositivo para detectar y registrar eventos sísmicos menores, que son comunes en entornos educativos y permiten una mayor comprensión de la actividad sísmica cotidiana.

Se detallarán los datos recolectados durante las pruebas, mostrando cómo el sismómetro responde a distintas frecuencias y amplitudes de ondas superficiales. A través de gráficos y tablas, se ilustrará la precisión y fiabilidad del dispositivo en condiciones controladas. Además, se discutirá la relevancia de estos resultados en el contexto educativo, subrayando la importancia de disponer de instrumentos sensibles que permitan a los estudiantes observar y analizar fenómenos sísmicos de baja intensidad.

Análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad del sismómetro:

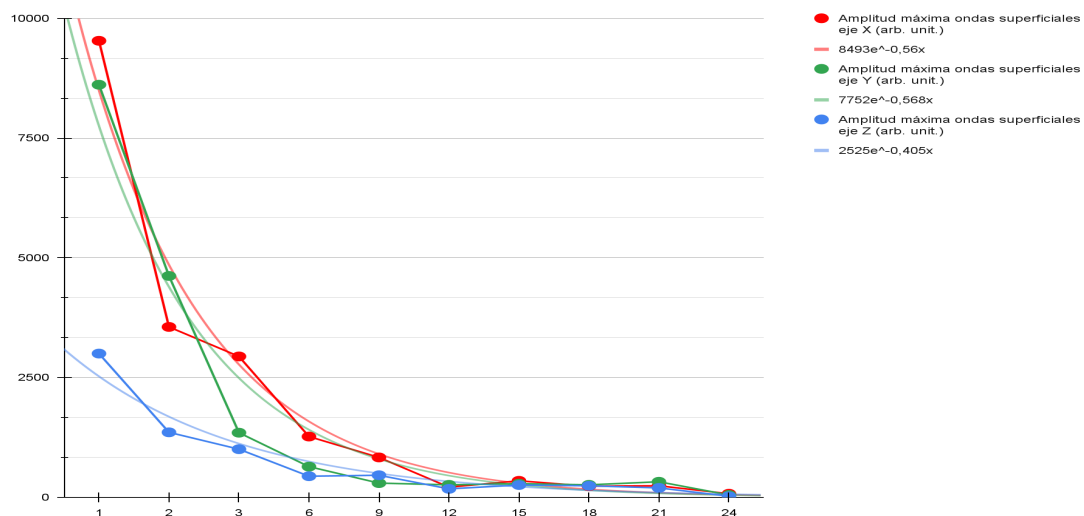
La amplitud de las ondas sísmicas registradas se analizó, cómo ya se explicó en el apartado *Pruebas experimentales*, para evaluar la capacidad del dispositivo de detectar variaciones en la intensidad de las ondas a medida que se incrementa la distancia del punto de impacto.

Los datos obtenidos se presentan en forma de sismogramas, donde se destaca la amplitud máxima registrada en cada una de las distancias evaluadas. Este análisis proporciona una visión clara de la sensibilidad del sismómetro y su capacidad para registrar eventos sísmicos de baja intensidad, lo cual es esencial para su uso en entornos educativos donde los eventos sísmicos naturales pueden no ser frecuentes.

Los resultados discutidos incluyen gráficos comparativos de las amplitudes máximas registradas, lo que permite visualizar cómo disminuye la intensidad de las ondas sísmicas con la distancia. Estos resultados son fundamentales para validar el diseño del sismómetro y asegurar que cumple con los requisitos educativos, permitiendo a los estudiantes observar y analizar fenómenos sísmicos en un entorno controlado. A continuación se observa la tabla y la gráfica resultadas de este análisis:

Análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad del sismómetro <i>Movement V1</i>				
Hora (hh:mm:ss)	Distancia (m)	Amplitud máxima ondas superficiales eje X (arb. unit.)	Amplitud máxima ondas superficiales eje Y (arb. unit.)	Amplitud máxima ondas superficiales eje Z (arb. unit.)
12:01:01	1	9530	8613	3001
12:02:01	2	3557	4621	1357
12:03:01	3	2941	1349	1005
12:04:01	6	1269	641	441
12:05:11	9	833	297	461
12:06:16	12	213	261	177
12:07:36	15	345	285	257
12:08:51	18	233	261	241
12:10:11	21	241	325	197
12:11:31	24	75	50	23
Nivel de ruido de fondo		1	13	-5

Análisis del rango de sensibilidad a ondas superficiales de baja intensidad ($F \approx 2500N$) del sismómetro *Movement V1*



[Grafico_1.png](#)

Análisis repetibilidad de datos del sismómetro:

Los resultados obtenidos en el análisis de repetibilidad del sismómetro *Movement V1* demuestran que el instrumento es capaz de registrar de manera consistente las amplitudes máximas de las ondas superficiales generadas en cada impacto, validando su estabilidad y fiabilidad en condiciones controladas. A pesar de la presencia de pequeñas fluctuaciones entre las mediciones en los ejes X, Y y Z, los valores se mantienen dentro de un rango de variabilidad esperable.

En el eje X, las amplitudes máximas registradas oscilan entre 408,2 y 453,5 unidades, mientras que en el eje Y las variaciones son algo más pronunciadas, con valores entre 321,6 y 417,0 unidades. Esta mayor dispersión en la componente horizontal Y podría estar relacionada con ligeras diferencias en la propagación de las ondas. En el eje Z, se observa una amplitud superior en comparación con los otros ejes, con valores comprendidos entre 400,4 y 518,7 unidades, lo cual es coherente con la mayor respuesta del sustrato en la dirección vertical ante impactos controlados.

El análisis del ruido de fondo indica que las condiciones ambientales y del equipo no han introducido perturbaciones significativas en la medición. Aunque el eje Y presenta un nivel de ruido algo superior (13 unidades), lo que podría justificar en parte su mayor dispersión, el eje X mantiene un valor prácticamente nulo (1 unidad), y el eje Z presenta un leve ajuste (-5 unidades) que no compromete la confiabilidad de los datos.

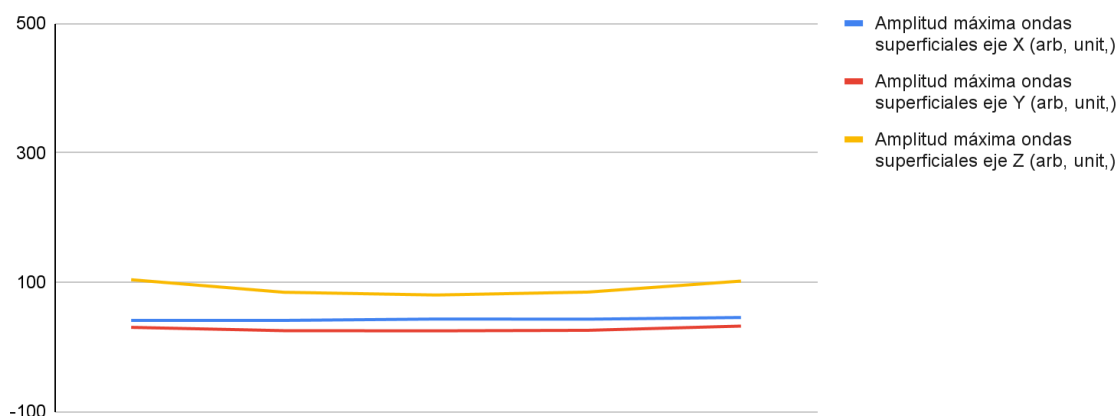
La repetibilidad observada en los registros confirma que el *Movement V1* es un dispositivo fiable para la detección y el análisis de ondas sísmicas generadas en condiciones experimentales controladas. Esta fiabilidad es particularmente relevante en el contexto educativo para el cual ha sido diseñado, ya que permitirá que los docentes de biología y geología utilicen el sismómetro como una herramienta didáctica efectiva en la enseñanza de los movimientos sísmicos. Al haber sido construido en la asignatura de tecnología, el proyecto no solo ha permitido aplicar conocimientos de instrumentación y medición, sino que también ha dado lugar a un recurso que podrá emplearse para ilustrar de manera práctica los conceptos de propagación de ondas, vibraciones del terreno y fenómenos sísmicos en general.

Análisis de repetibilidad de las medidas del sismómetro

Movement V1

Hora (hh:mm:ss)	Amplitud máxima ondas superficiales eje X (arb, unit,)	Amplitud máxima ondas superficiales eje Y (arb, unit,)	Amplitud máxima ondas superficiales eje Z (arb, unit,)
19:46:01	40,82	30,10769231	103,74
19:47:01	40,86	24,98461538	84,36
19:47:30	42,96	24,73846154	80,08
19:48:00	42,76	25,55384615	84,66
19:48:31	45,35	32,07692308	101,62
Nivel de ruido de fondo	10	13	-5

Análisis de repetibilidad de las medidas del sismómetro Movement V1



[Gráfico_2.png](#)

Análisis y testeo en ambientes educativos reales del sismómetro:

Durante la fase de validación en entornos educativos, se contactó a profesores de la asignatura de Biología, Geología y Ciencias Ambientales, quienes implementaron el sismómetro en aulas de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. Aunque, por motivos de tiempo, no se pudo realizar un testeo tan exhaustivo como se hubiera deseado, las pocas pruebas llevadas a cabo han permitido constatar que este recurso resulta altamente ilustrativo para el estudio de la geología y el entendimiento de fenómenos sísmicos.

En las sesiones de prueba, los docentes han destacado que la incorporación del sismómetro en la enseñanza ha permitido a los estudiantes observar en tiempo real la propagación de ondas sísmicas, facilitando la comprensión de conceptos que, en teoría, pueden resultar abstractos y difíciles de visualizar. Los alumnos han interactuado directamente con la herramienta, realizando mediciones, analizando datos y correlacionando estos resultados con los contenidos teóricos del currículo. Este enfoque práctico ha estimulado el interés y la participación, al tiempo que ha reforzado habilidades transversales como la observación, el análisis crítico y la resolución de problemas.

Adicionalmente, se evidenció que el sismómetro no solo favorece el aprendizaje en el ámbito de la geología, sino que también tiene un impacto positivo en la integración de conocimientos interdisciplinarios en áreas STEM integrando tanto ciencias como matemáticas como ingeniería.

El impacto positivo del sismómetro en el aula se ha visto reflejado en la retroalimentación recibida por los profesores. Ellos han señalado que, a pesar de las limitaciones temporales para realizar un testeo más amplio, las observaciones iniciales son muy prometedoras. En concreto, los datos recopilados y la visualización en tiempo real han permitido a los estudiantes correlacionar la teoría respecto a ondas sísmicas superficiales y medición de sismos con la práctica, lo que facilita una mayor asimilación de conceptos complejos relacionados con la dinámica del movimiento sísmico y la estructura geológica.

Por otro lado, se planteó la posibilidad de que los estudiantes de Bachillerato pudieran involucrarse de manera activa en el proceso completo de diseño y construcción del sismómetro, integrando este proyecto en la asignatura de Tecnología e Ingeniería. La idea era que los alumnos no solo fueran usuarios, sino también creadores, experimentando todo el proceso desde la planificación, la programación del microcontrolador, el montaje de hardware, hasta el análisis de los datos obtenidos. Aunque la restricción de tiempo impidió la realización de este testeo completo, los profesores de Tecnología han expresado su convicción sobre el potencial del proyecto. Consideran que este tipo de iniciativas fomenta el espíritu

innovador, el trabajo en equipo y el aprendizaje práctico, elementos esenciales en la formación de futuros profesionales en campos técnicos y científicos.

La experiencia en el aula ha generado un consenso general sobre la utilidad del sismómetro como herramienta didáctica. Los educadores han resaltado que, aun con la limitación de pruebas, el proyecto ha demostrado ser un recurso versátil y adaptable a diferentes niveles educativos. Se ha destacado la facilidad de integración del sismómetro en actividades experimentales y la posibilidad de combinarlo con otras herramientas digitales para realizar análisis comparativos y profundos estudios de campo. Este enfoque práctico no solo enriquece la experiencia educativa, sino que también motiva a los alumnos a investigar y desarrollar nuevas ideas, conectando de manera efectiva la teoría con la realidad.

Además, la interacción directa con el sismómetro ha permitido a los estudiantes comprender mejor la importancia de la instrumentación científica en el estudio de fenómenos naturales. La manipulación del dispositivo y la interpretación de los datos han servido para reforzar conceptos fundamentales de física, electrónica y geología. Los docentes han observado que, al enfrentarse a problemas reales y a situaciones experimentales, los alumnos adquieren una mayor confianza en sus habilidades técnicas y analíticas, lo que resulta en un aprendizaje más profundo y significativo.

Conclusiones:

La conclusión general del proyecto resalta cómo la iniciativa integra de manera coherente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la innovación tecnológica y la educación de calidad. Desde la perspectiva de los ODS, se destaca la contribución al ODS 4, que promueve una educación inclusiva y de calidad, y al ODS 13, orientado a la acción contra el cambio climático, al proporcionar a los estudiantes una herramienta práctica que vincula el estudio de la sismología con la comprensión de los efectos del clima en la actividad sísmica.

El proceso de construcción del sismómetro se desarrolló a través de un riguroso planteamiento que incluyó una revisión bibliográfica y consultas con expertos, seguido de un diseño experimental detallado, el modelado 3D de sus componentes y la integración de software y hardware (utilizando microcontroladores y acelerómetros). Las pruebas experimentales, tanto en condiciones controladas como en entornos reales, demostraron que el sismómetro posee una alta sensibilidad y repetibilidad en la detección de ondas sísmicas de baja intensidad, validando su capacidad para registrar datos precisos y confiables.

Desde el punto de vista educativo, el sismómetro se presenta como una herramienta innovadora y versátil que facilita el aprendizaje interdisciplinario. En aulas de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), permite a los estudiantes comprender de manera práctica los conceptos básicos de la geología y la propagación de ondas sísmicas. En el ámbito del Bachillerato, su aplicación se extiende al estudio de la tecnología y la ingeniería, ofreciendo una experiencia real en el montaje, programación y análisis de datos, lo que fomenta habilidades críticas como el trabajo en equipo, el pensamiento analítico y la resolución de problemas.

Este proyecto no solo demuestra la viabilidad técnica de un sismómetro *open-source*, sino que también se erige como un recurso educativo de gran impacto. Su integración en el aula contribuye a una enseñanza más activa y colaborativa, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos futuros mediante la aplicación práctica de conocimientos científicos y tecnológicos, en línea con los principios de los ODS y la necesidad de construir un futuro más resiliente y sostenible.

Bibliografía:

- Forcellini, D. (2021). The role of climate change in the assessment of the seismic resilience of infrastructures. *Infrastructures*, 6(5), 76. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6050076>
- Gilli, A., Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Bradbury, J. P., Kelts, K. R., Markgraf, V., & McKenzie, J. A. (2001). Tracking abrupt climate change in the Southern Hemisphere: A seismic stratigraphic study of Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Terra Nova*, 13(6), 443–448. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00377.x>
- Masih, A. (2018). An enhanced seismic activity observed due to climate change: Preliminary results from Alaska. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 167, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/167/1/012018>
- Quiroz-Tuarez, S., & Zambrano-Montes, L. C. (2021). La Experimentación en las ciencias naturales para el Desarrollo de Aprendizajes Significativos. *REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA "YACHASUN,"* 5(9 Edición especial octubre), 2–15. <https://doi.org/10.46296/yc.v5i9edespsoct.0107>
- Ramírez Ramirez, G. E. (2023). El Papel de la Experimentación en la enseñanza de las ciencias naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 632–652. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6222
- Ribas, A., Olcina, J., & Sauri, D. (2020). More exposed but also more vulnerable? climate change, high intensity precipitation events and flooding in Mediterranean Spain. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(3), 229–248. <https://doi.org/10.1108/dpm-05-2019-0149>
- Soler-Llorens, J. L., Galiana-Merino, J. J., Nassim-Benabdeloued, B. Y., Rosa-Cintas, S., Ortiz Zamora, J., & Giner-Caturla, J. J. (2019a). Design and implementation of an Arduino-based plug-and-play acquisition system for seismic noise measurements. *Electronics*, 8(9), 1035. <https://doi.org/10.3390/electronics8091035>
- Tuel, A., & Eltahir, E. A. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot? *Journal of Climate*, 33(14), 5829–5843. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0910.1>
- United Nations. (n.d.). Cambio climático - Desarrollo Sostenible. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Anexos:

Anexo 1, Recursos adicionales³:

Modelos 3D:

[Cuerpo sismografo.stl](#)

[Tapa sismografo.stl](#)

Códigos:

[interfaz.pdf](#)

[Sismografo.pdf](#)

Github:

<https://github.com/sergiogoor/Movement>

Anexo 2, Agradecimientos:

Queremos expresar nuestro más sincero reconocimiento a todas las personas e instituciones que han contribuido al desarrollo de este proyecto de investigación. Su apoyo y colaboración han sido esenciales para alcanzar los objetivos propuestos y enriquecer el proceso de aprendizaje.

En primer lugar, agradecemos al Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la UA por su cálida acogida y el inestimable apoyo brindado, lo que facilitó significativamente nuestro trabajo. Extendemos nuestro agradecimiento especial al técnico superior Nassim Benabdeloued, del grupo de geología aplicada e hidrogeología de la UA, cuya dedicación y conocimientos fueron fundamentales para resolver las inquietudes surgidas durante el desarrollo del proyecto. Asimismo, reconocemos la valiosa orientación de nuestra tutora, Herminia Pastor Pina, cuya guía fue clave en cada etapa del proceso, y agradecemos a Javier Pastor Pina del IES María Blasco por su apoyo continuo. No menos importante es el reconocimiento

³Todos los archivos adjuntos, en caso de que no puedan ser visualizados por motivos de impresión u otros inconvenientes, podrán ser enviados por correo electrónico a quienes lo soliciten. El correo electrónico deberá ser enviado a la dirección proporcionada en el [Anexo 3.Contacto](#).

al Departamento de Biología, Geología y Ciencias Ambientales, así como al Departamento de Tecnología e Ingeniería del IES María Blasco, por ofrecer un entorno académico enriquecedor y colaborativo.

En definitiva, este proyecto ha sido posible gracias a la suma de esfuerzos y la cooperación de todos los mencionados. Cada aporte ha dejado una huella imborrable en nuestro camino investigativo, por lo que reiteramos nuestro profundo agradecimiento y reconocimiento a cada uno de los involucrados.

Anexo 3, Contacto:

Para obtener más información o resolver cualquier duda, por favor, póngase en contacto con nosotros a través de los correos electrónicos proporcionados a continuación. Estaremos encantados de asistirle y proporcionar la ayuda necesaria.

Alaiur Beitia Pérez: alai.beita.p@gmail.com

Sergio Gómez Orts: sergiogomezorts7@gmail.com

Herminia Pastor Pina: h.pastorpina@edu.gva.es