

Sismógrafo electrónico de medición y detección de movimientos telúricos con comunicación inalámbrica wifi portátil de bajo costo

Anahue Catunta Alder¹ , Mamani Huanca Jhoel²

¹*Universidad Nacional de San Agustín*

²*Escuela profesional de Ingeniería Electrónica.*

Abstract—En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un prototipo de sismógrafo con comunicación Wi-Fi hacia un cliente para el monitoreo de eventos sísmicos mediante una página web. El prototipo se divide en dos etapas, Hardware y Software. El Hardware representa la estación sismográfica, que cuenta con varios módulos electrónicos interconectados entre sí para así realizar la detección de señales sísmicas, entre ellos un módulo GPS para su ubicación geográfica, una lectora de SD-Card para el almacenamiento de datos, un acelerómetro para la detección de movimientos y una tarjeta ESP32 para la ejecución mediante código del algoritmo detección de umbral error. Para la detección de eventos sísmicos mediante umbrales, gracias a las características de la tarjeta se realiza la comunicación Wi-Fi con un servidor Web, al cual se enviará la alerta mensaje de un evento sísmico registrado, posteriormente los datos correspondientes a la señal detectada se envía a un archivo de salida para su registro y almacenamiento. Al servidor web se lo ha denominado Software del sistema, este se encargará de mostrar los parámetros del evento sísmico detectado por la estación, para su posterior procesamiento mediante cálculos para obtener valores aproximados de la intensidad escala Mercalli y profundidad, para finalmente mostrar mediante una página web la ubicación sobre un mapa de la o las estaciones. Para lograr las características del servidor se usó lenguajes de programación como HTML y c++. Finalmente se realiza la instalación una estación sismográfica en un lugar estable (prueba terreno plano) para sus respectivas pruebas.

Index Terms—HTML, c++, Wi-Fi, Sismógrafo y Comunicación Inalámbrica, Acelerógrafo, Escala Mercalli, Lowcost.

2

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología aplicada a los sensores y plataformas de sensores ha evolucionado a un ritmo fuerte y rápido durante los últimos años, lo que se traduce en un mayor rendimiento, menor consumo de energía, mejor conectividad, mayor accesibilidad y reducción de costos. Estas innovaciones brindan a las comunidades científicas y a los experimentadores perspectivas prometedoras, como el despliegue de grandes redes de sensores para el monitoreo en tiempo real de la actividad sísmica con alta resolución espacial.

Cada año se producen alrededor de 20 terremotos de magnitud 7 o superior [9]. Este tipo de eventos sísmicos son

Alder A.C, a student of the San Agustín National University, 04000, Arequipa, Perú, (e-mail: aanahue@unsa.edu.pe).

Jhoel M.H, a student of the San Agustín National University, 04000, Arequipa, Perú, (e-mail: jhmamanih@unsa.edu.pe).

potencialmente destructivos y pueden causar varios daños estructurales, pérdidas económicas y humanas. Para realizar un trabajo eficaz de prevención y gestión de riesgos, la geofísica debe estar equipada con herramientas de software y hardware adecuadas. Los estudios sísmicos comprenden no solo la gestión de riesgos, estudios geofísicos de la tierra, sino que el monitoreo de vibraciones también se ha convertido en un enfoque científico muy útil para abordar la seguridad y el mantenimiento estructural. Entre estos dispositivos, el acelerómetro MEMS combina un gran rendimiento con bajos costos, características que lo han convertido en uno de los dispositivos más populares a la hora de esta tarea.

El sismómetro es un sensor que se utiliza para medir la vibración en la superficie del suelo para que pueda registrar señales de terremotos y tiene una alta sensibilidad a las vibraciones del suelo, incluido el ruido. La sensibilidad al ruido puede provocar una grabación inestable, incluso daños en los componentes, por lo que es necesario realizar una calibración. Los sismómetros constan de varios tipos según su respuesta, uno de los cuales es un sismómetro de período corto[15].

Considerando la practicidad de diseño y construcción de sistema que permita obtener variación de aceleraciones, este artículo propone el desarrollo de un sistema que permita reconocer actividad sísmica a bajo costo y de fácil implementación. Específicamente diseñado para que sea construido con recursos accesibles y con fines de aprendizaje. Esto hará posible detección de intensidad escala de Mercalli y se podrá comparar con una propuesta acelerográfica.

Este artículo está organizado de la siguiente forma: La sección 2 describe el estado del arte de descripción estado actual sismología, luego se muestran avances de investigaciones que proponen percepción de movimientos telúricos. La sección 3 describe el diseño propuesto y sus características. La sección 4 muestra los criterios de diseño considerados. La sección 5 presenta el proceso de construcción del sistema acelerógrafo. Finalmente, la sección 6 presenta los resultados de la construcción.

II. ESTADO DE ARTE

En Perú, es posible encontrar estudios de geología, geoquímica y geofísica realizados para el diseño de sismógrafo o para la detección de manifestaciones telúricas, que a continuación se detalla:

En [5], se tiene a la red acelerográfica del Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional, donde se ha implementado desde el año 2014. Actualmente 2021, cuenta con 79 acelerógrafos. Estos equipos envían la información de los registros sísmicos digitalizados a un servidor, para ser monitoreados en tiempo real. Se observa que se encuentra una ubicación precisa y están construidos en una caja que están realizados para registrar la aceleración sísmica, velocidad y desplazamiento del suelo e intensidad espectral.

También, se tiene la Red Sísmica Satelital para alerta temprana de Tsunamis a cargo del instituto Geofísico del Perú (REDSSAT - IGP), el cual es un sistema integrado de sismómetros con transmisión satelital. Y su objetivo es monitorear constantemente la actividad sísmica que pueda afectar el territorio nacional, de manera que se pueda dar alertas rápidas y eficaz la posible ocurrencia de tsunamis [14]. Al momento de la instalación se debe considerar una geometría adecuada, con estaciones instaladas en ambientes geológicos adecuados para registro de datos sísmicos como por ejemplo basamento rocoso, suelo competente.

Finalmente, en la actualidad se tiene monitorizado diferentes zonas con las instituciones mencionadas. Así también el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de su Observatorio Vulcanológico (OVI) realiza el monitoreo del volcán Ubinas en tiempo real mediante una red de sensores multiparamétricos. Estos equipos tienen la capacidad de medir los flujos de gases volcánicos, la deformación del suelo, las vibraciones del suelo (sismos), los productos emitidos por el volcán y la actividad superficial como emisiones de gases por el cráter [6]. La instrumentación está instalada alrededor del volcán Ubinas y la información registrada se transmite en tiempo real hacia las instalaciones del OVI, en la ciudad de Arequipa.

Algunos alcances de investigaciones buscan registros con sistemas de bajo costo aprovechando el progreso de los sistemas microelectromecánicos (MEMS) [4]; desarrollan un sistema de detección de bajo costo para registrar aceleraciones que permite la recopilación de datos de movimiento fuertes a nivel del suelo durante terremotos, así como monitoreo de estructuras. También se puede considerar particularidades, Ringler D. [3] con la propuesta de uso de RS-4D que incluye un geófono de componente vertical, un acelerómetro de tres componentes, un digitalizador y una transmisión de datos mini-SEED casi en tiempo real.

Algunos trabajos que proponen el uso de microcontroladores es en [12], donde se muestra el funcionamiento de la implementación de un sistema sismógrafo que se está realizado en una placa de desarrollo Raspberry modelo 3B + junto con un módulo acelerómetro

giroscopio mpu6050. La información registrada por el módulo MPU6050 será analizado y almacenado en una base de datos de gráfico. Cada vibración que sienta el módulo acelerómetro-giroscopio enviará una alerta por SMS al teléfono móvil a través de un servicio IFTTT. La notificación contendrá el tipo de terremoto producido según la magnitud (menor, leve, moderada, fuerte) así como su clasificación en varios grados en la escala de Richter y el tiempo de su producción.

Un trabajo que busca encontrar registros microsísmicos con baja SNR es en [7]. Donde, se presenta algoritmo STA/LTA como para aplicación de desafío en el campo microsísmico. Debido a la complejidad del entorno minero, los registros microsísmicos recopilados por diferentes canales varían y, en general, tienen una baja relación señal/ruido (SNR). Por lo tanto, se requiere que el algoritmo de ubicación automática sea robusto y preciso. Esta importancia del reconocimiento de umbral para detección de eventos sísmicos es procesar las señales, en referencia a esto, en el artículo referenciado en [17] se utiliza el código del algoritmo STA/LTA. Se resume la detección confiable y precisa de las llegadas de ondas P como un paso clave para la determinación de los parámetros sísmicos. En este artículo, se desarrolló un algoritmo innovador y automático para detectar la llegada de la onda P basado en la teoría de la dimensión fractal y la relación entre la dimensión fractal promedio a corto y largo plazo, llamado algoritmo de dimensión fractal STA/LTA.

III. SISMÓGRAFO DE BAJO COSTO

Para requerimientos propios propuestos en problemática y justificación de nuestro trabajo; para Arequipa requerimos un diseño propio de sismógrafo de bajo costo y accesibilidad a ser portable.

De acuerdo a revisión bibliográfica, vemos accesible la construcción de éste utilizando acelerómetro como se realiza en la red acelerográfica del Colegio de Ingenieros del Perú [5]. Más con una variación de instrumentación, en este caso referiéndonos a [12], donde se utiliza MPU6050 con buenos resultados de captación de movimientos. Luego para el procesamiento de señales vemos por necesario que al tener baja relación de ruido, utilizar algoritmo de umbral para detección de evento movimiento; que es un resumen para la detección confiable y precisa de las llegadas ondas P como un paso clave para la determinación de los parámetros sísmicos.

El algoritmo es tal que se activa una alerta de detección de evento si se supera el umbral preestablecido. Una vez superado el umbral la estación envía el mensaje acerca del fenómeno, de tal forma que se inicie con el registro de las últimas muestras detectadas.

Las señales de un movimiento sísmico luego de ser procesadas y observadas en respuesta de aceleración, tienen 3 formas destacadas de impulsos como ruidos; a estos se les conoce como ondas P, S y superficiales.

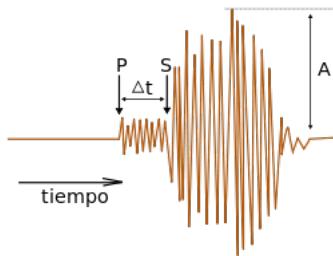


Fig. 1: Caracterización de movimiento sísmico ondas S y P.

Hay varias escalas de magnitud, aunque probablemente las más conocidas entre las personas es la escala de Richter y escala Mercalli. Dependiendo de la red sísmica y la distancia, se pueden usar uno o más. Debido a la diferente estructura del terreno y la posición de la estación en una ubicación, puede ocurrir una gran variación de magnitud entre estas diferentes estaciones, lo que demuestra que la medición de la magnitud no es una disciplina exacta. Cada escala de magnitud o intensidad tiene un rango de aplicación y son adecuadas para diferentes condiciones que son estandarizados.

De acuerdo a las ondas sísmicas leídas, entonces se puede considerar escala Mercalli de medición. Donde, a partir de la gráfica muestrada, se dará una descripción del fenómeno según tabla de Mercalli y además se puede obtener una descripción del evento en sensaciones.

La forma más sencilla de calcular la magnitud local es utilizando la Magnitud Mc (a veces llamada magnitud de duración). Es una aproximación de magnitud local que relaciona la longitud de la coda (duración del evento) con el tamaño del terremoto [11]. Se define como:

$$M = \log A + 3 \log(8 * \Delta_t) - 2.92$$

Con respecto a esto, obtenemos en magnitud si el movimiento es simple o de peligro. Y es posible aplicara un sistema en referencia local.

Para cálculo de magnitud escala Richter y conocer ubicación del epicentro para este trabajo es viable a través de construcción de 3 de estos sistemas que, al obtener información sensada particularmente se definen en un solo punto epicentro y permite cálculo de momento en movimiento sísmico.

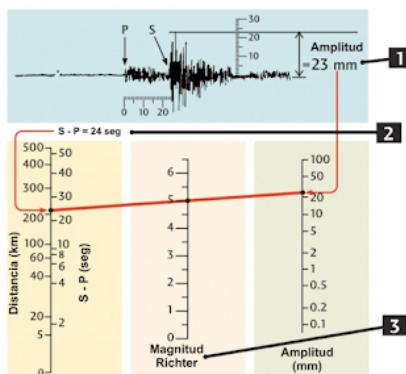


Fig. 2: Sismograma Richter

Aplicable a eventos de amplitud menor a 6-7, distancia menor a 1500 km y banda de frecuencia de 1-20 Hz.[12], en esta referencia se tiene los cálculos e interpretaciones segun parámetros descritos.

Finalmente, en este trabajo se plantea detección de movimiento sísmico con sensaciones de acelerómetro en ejes X,Y y Z., reconocimiento de fenómeno y análisis de las ondas que se generan para obtener datos de ubicación, fecha hora e intensidad escala Mercalli.

Escala Mercalli	Aceleración Sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	<0.0017	<0.1	No apreciable	Ninguno
II-III	0.0017 - 0.014	0.1-1.1	Muy leve	Ninguno
IV	0.014 - 0.039	1.1-3.4	Leve	Ninguno
V	0.039-0.092	3.4-8.1	Moderado	Muy leve
VI	0.092-0.18	8.1-16	Fuerte	Leve
VII	0.18-0.34	16-31	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34-0.65	31-60	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65-1.24	60-116	Violento	Fuerte
X+	>1.24	>116	Extremo	Muy fuerte

TABLE I: Parámetros escala Mercalli

A. Planteamiento de Funcionamiento

Se deben tener en cuenta los lugares de instalación típicos rurales y aislados, así como los rangos dinámicos competitivos y las relaciones señal/ruido para el procesamiento o post procesamiento de la señal en tiempo real, combinados con configuraciones de tiempo de respuesta muy bajo y bajo demanda, activado transferencias de datos, lo que permite una integración perfecta con los sistemas de alerta temprana y monitoreo de terremotos existentes y futuros [10].

El funcionamiento se basa en los registros de vibración, golpe o movimiento que detecta el sensor integrado, se enviará señales eléctricas a un microcontrolador de manera constante, el cual por medio de la programación genera una señal en donde se observan las frecuencias altas y bajas que han sido detectados para finalmente registrar la información.

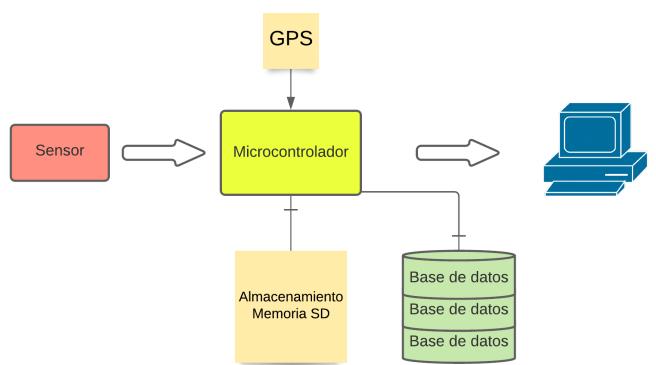


Fig. 3: Diagrama funcionamiento

IV. CRITERIO DE DISEÑO

En este apartado se realiza en síntesis el desarrollo de la propuesta a través de metodología cuantitativa de acuerdo a la propuesta con elección de factibilidades de diseño como son la programación (C++ y HTML), sensores (IMU, GPS) y, como acción de resultado parámetro cálculo de procesamiento detección sísmica.

En la siguiente figura se muestra en resumen el funcionamiento del sistema.

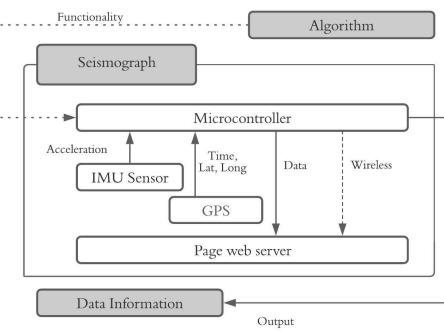


Fig. 4: Diagrama funcional del sistema (Fuente propia)

Considerando la portabilidad del sismógrafo tendrá un pequeño tamaño (una caja de 18cm x 15cm x 8cm), todos los componentes se encuentran en el interior de la caja construida con cartón maqueta a fin de que no pueda perjudicar a la sensibilidad del sismógrafo.

Se utiliza como respuesta medición en escala intensidad Mercalli, que por ubicación se plantea lograr sensar y medir un resultado hasta no mayor de 10 grados en intensidad de Mercalli.

Requiere una alimentación de 9V. En esta construcción se utilizará una Batería Pila 9v. El sistema será capaz de medir sensaciones de movimiento gracias al MPU6050 que integra su Procesador Digital de Movimiento (DMP). Donde se logrará tener las mediciones del movimiento en 3 dimensiones que será enviada al microcontrolador ESP32 por comunicación I2C. Para filtrar la señal generada, se implementa el algoritmo filtrado, que limitará un umbral de medición. Finalmente con el GPS, se une la información y es enviada la medición en intensidad Mercalli a un computador y a una memoria SD para almacenamiento (Capacidad de 8GB).

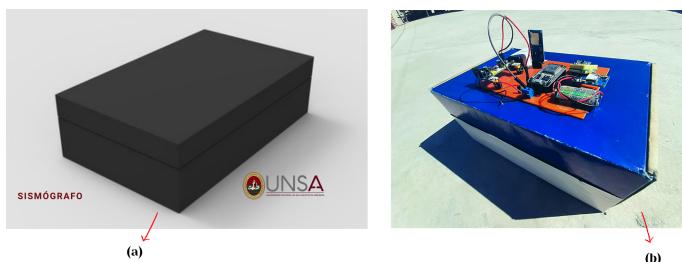


Fig. 5: Representación de implementación física Sismógrafo

	Descripción	Correspondencia
1	Tamaño	Box 20x15x8 cm
2	Wifi incorporado	ESP32 Wifi 802.11 n (2.4 GHz), hasta 150 Mbps
3	Almacenamiento de datos	Memoria SD Card 8Gb
4	Voltaje de operación	9V. DC
5	Convertidor	MEMS. Acelerómetro
6	Frecuencia de muestreo	10HZ-1000HZ a configurar
7	Medición	Hasta 6 a 7 grados escala Richter
8	Procesamiento	Procesador Digital de Movimiento (DMP) del MPU6050
9	Condiciones de Operacion	Aprox. Temp = 0 - 50°C. Humedad: por debajo del 95% de HR

TABLE II: Características prototipo Sismógrafo de bajo costo

A. Lowcost

El diseño del sistema tiene como criterio principal el uso de materiales de bajo costo y amplia disponibilidad, sobre todo en países en vías de desarrollo. Esto facilitaría el desarrollo de principios de educación como la sismografía a más estudiantes con bajos presupuestos.

La lista de los materiales empleados para la construcción, incluyendo sus costos, se muestran en la siguiente tabla.

	Componente	cant.	precio x unidad	precio 'S/'
1	Módulo GPS Ublox Neo-6m V2 con memoria Eeprom.	1	92.00	92.00
2	Módulo MPU6050.	1	13.50	13.50
3	Modulo Lector De Memoria Micro SD	1	7.00	7.00
4	Cable conexión Mini-USB	1	2.50	2.50
5	Cartón maqueta pliego	1	2.50	2.5
6	Batería Pila Toshiba 9v	1	4.50	4.50
7	Módulo de interfaz Micro USB MB102 DC 7 12V	1	6.00	6.00
8	Placa Desarrollo ESP32 Ble Wifi Bluetooth 38 Pines	1	38.00	38.00
9	Computador PC	1	-	-
10	Taladro, alicate, cables, protoboard, multímetro, tablero, etc	-	-	-
-	-	-	-	< 160.00

TABLE III: Resumen componentes a utilizar

B. Portátil

La necesidad de portabilidad de dispositivos surge por la tendencia de tecnologías de comunicación inalámbrica. Que, como buen aprovechamiento es posible transmitir y obtener datos desde un lugar remoto.

C. No necesitan herramientas complejas

Aunque es posible adquirir un sismógrafo como un producto en el mercado, no están siempre disponibles y si se busca armar un diseño, los requerimientos no están siempre disponibles en todas las localidades. Es por eso que, este sistema no requiere uso de herramientas sofisticadas para su construcción.

D. OpenSource

Para promover el uso amplio de este prototipo, la información necesaria para su replicación se libera bajo licencia open-source.

V. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

A. Diagrama Esquemático

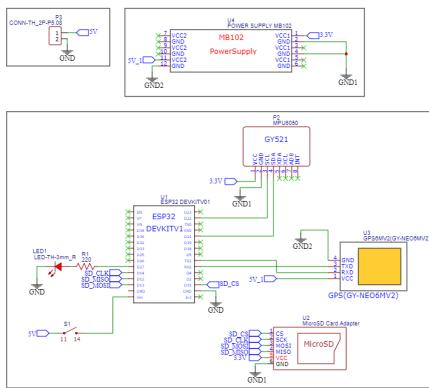


Fig. 6: Diagrama Esquemático realizado en EasyEDA

B. Algoritmo Umbral

El algoritmo implementado se describe en la figura 7. De tal manera que inicia en la sensación de la magnitud de la aceleración. Con esta, al momento de pasar un umbral (valor especificado) genera un registro almacenado en un arreglo unidimensional de tamaño 'n'.

Al momento de que se registre el evento de ondas, los datos son enviados a detectarse una amplitud de valor máximo. Éste último valor describirá la máxima sensación en el movimiento telúrico, y por medio de escala de Mercalli se registra un valor de salida regulada por valores de la tabla 1. Esta funcionalidad se realiza en un ciclo repetitivo loop, de tal manera que cada vez que se registre un movimiento se tenga un valor de salida y a la vez, siempre se anda verificando que se sobrepase el umbral para detección de su amplitud.

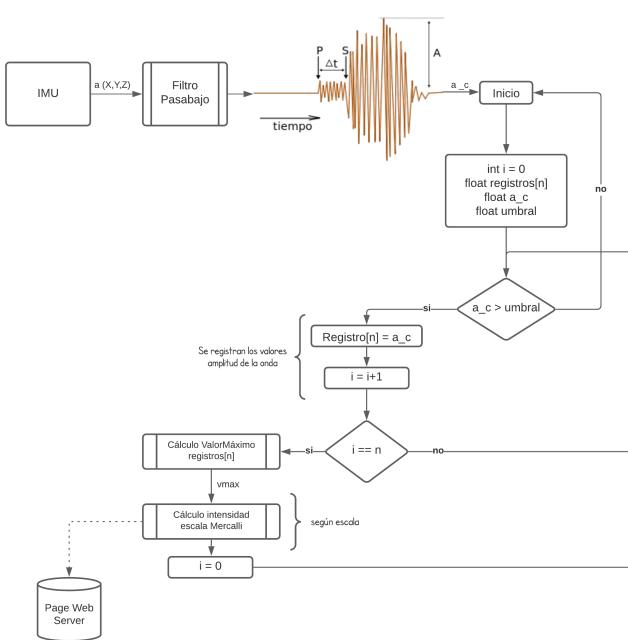


Fig. 7: Diagrama funcional del sistema (Fuente propia)

C. Construcción

Los atributos del lienzo conexión para el PCB son de espesores 0.7mm. En esta ocasión no se consideró el Cooper Área en el PCB debido a que no existe mucha potencia en el circuito y por comodidad se realizó conexiones que permitan conectar fácilmente nuestros módulos para el sismógrafo.

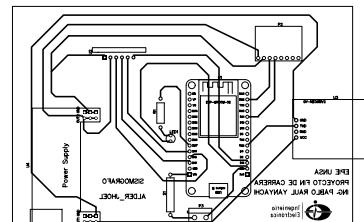


Fig. 8: PCB a escala 60% capa superior (Reverso para impresión)

A continuación se muestra la integración de los componentes del sistema que antes se realiza revisión de conectividad entre pistas, conexiones, y comunicación para estabilización de la estación (sistema completo).

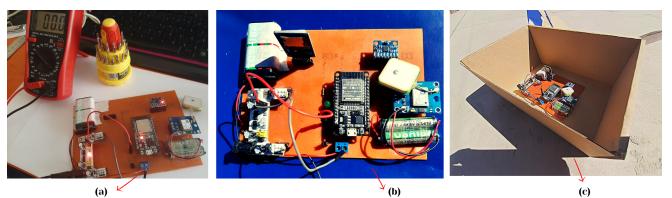


Fig. 9: Implementación física

VI. RESULTADOS

La detección de movimientos generando variaciones en aceleración en un movimiento se registran en la figura 10. Donde, se muestran aceleraciones en X,Y,Z y la magnitud a_c .

El resultado final de envío de datos se muestra en la página web servidor (figura 12), que presentan los valores sensados en tiempo real. Considerándose los cada valor de aceleración, ubicación real, hora y fecha, y finalmente la intensidad Mercalli registrada en último evento.

Se añadió una api que permite visualizar en tiempo real la ubicación donde nos encontramos a través de un Mapa.

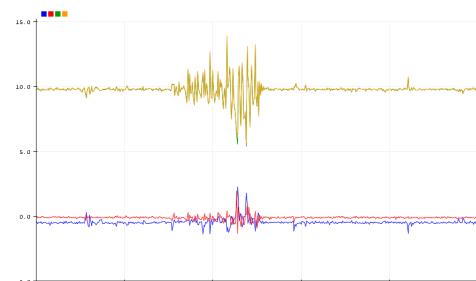


Fig. 10: Visualización de parámetros acelerográficos en (m/s)

```

Connecting to <CR><LF>
ROS_Wireless<CR><LF>
.....<CR><LF>
WiFi connected<CR><LF>
IP address is : <CR><LF>
192.168.1.7<CR><LF>
Server started<CR><LF>
<CR><LF>
GPS GY-GPS6MV2 Leantec<CR><LF>
--Buscando señal-- <CR><LF>
<CR><LF>
-0.33,0.21,9.76,9.77,1.00<CR><LF>
-1.19,0.16,10.33,10.40,1.06<CR><LF>
-0.07,0.26,10.10,10.10,1.03<CR><LF>
-0.41,-0.13,9.28,9.29,0.95<CR><LF>
-0.19,-0.24,8.62,8.62,0.88<CR><LF>
-0.28,-0.18,7.85,7.86,0.80<CR><LF>
-0.11,0.19,9.64,9.65,0.99<CR><LF>
-1.35,0.55,12.23,12.31,1.26<CR><LF>
Se reconoció umbral límite<CR><LF>
0<CR><LF>
1.26<CR><LF>
1.26<CR><LF>
0.00<CR><LF>
0.00<CR><LF>

```

Fig. 11: Visualización de parámetros numéricos

En esta visualización es una simulación de movimiento. Donde se muestran los parámetros de aceleración que se está obteniendo como información normalmente, y hasta que sobre pasa un umbral, entonces se registra el número en un arreglo inicialmente vacío, y para luego realizar el procesamiento y reconocimiento de Intensidad de Magnitud, como por ejemplo en la figura 12, un resultado de escala intensidad Mercalli.

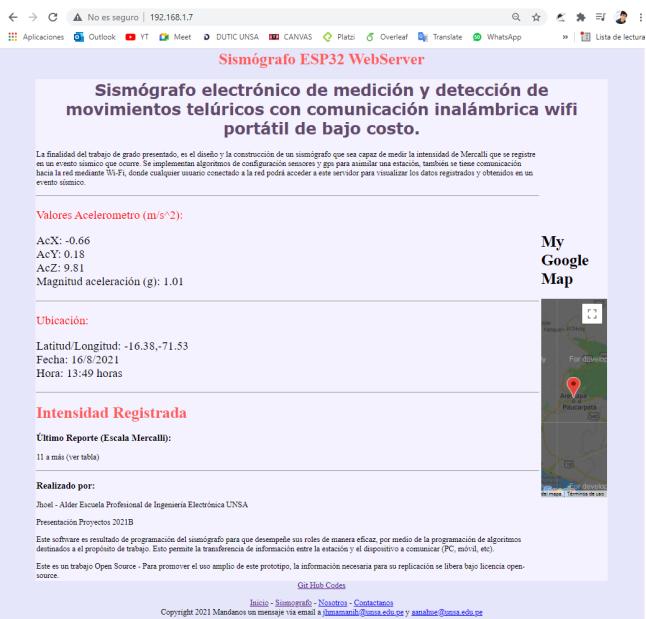


Fig. 12: Captura de página servidor Web direccionada en PC

Esta última figura muestra la página donde cualquier usuario conectado a la red podrá ingresar a través de una dirección IPv4. El servidor es el ESP32 y, cada usuario que se conecte a la página será un cliente, es así como está descrito este trabajo.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se desarrolló el prototipo electrónico dotados con los dispositivos de instrumentación necesaria para la detección de eventos sísmicos, la cual se conforman de un acelerómetro para determinar movimientos telúricos significativos, un módulo GPS para ubicación y tiempo, un módulo WIFI para la conexión a internet y un módulo SDCard para el respaldo de datos. El prototipo usa la energía mínima que puede acondicionarse para mayor duración, considerándose una entrada cable jack para añadir tipo de batería soportada entre 9-12V para su funcionamiento pero también cuenta con un respaldo de batería para en un futuro evitar la suspensión del funcionamiento ante cualquier falla eléctrica. Gracias al diseño desarrollado con Wifi, se tiene conectividad estable con el servidor, permitiendo brindar un grado de confiabilidad local.
- Dentro del sistema de monitoreo sísmico se diseñó un algoritmo para la discriminación de falsos sismos (incertidumbres de sensor), el mismo que comprueba que sobrepase un umbral de tal forma que se active una grabación de datos durante un evento sísmico, permitiendo al algoritmo determinar la intensidad en escala Mercalli, brindando una información instantánea en el rango de segundos, y también puede ser como un alarma antes de que llegue la onda secundaria que es la causante de situaciones destructivas, esta etapa se comportaría como una alerta temprana que se podría conectar con las agencias de control pertinentes.
- Este trabajo tiene una sensación de datos local, lo que permite realizar estudios de rigidez de edificaciones o estudio de lugares en suelos como las características de compacidad para los suelos gruesos, o de consistencia para los suelos finos. También así comprobar el comportamiento de las ondas sísmicas transitando suelos blandos, que por el principio de conservación de la energía estas varían. Posiblemente la topografía y geometría de los depósitos se constituyan en factores relevantes de estudio a futuro.
- Finalmente, para obtener registro del epicentro de evento sísmico y así obtener la escala Richter, se propone en un avance considerar construcción de 3 sistemas que puedan sentir diferentes movimientos que al intersectarse se obtendrá un punto epicentro, permitiéndonos hallar y encontrar relación momento energía con escala grados Richter.

REFERENCES

- [1] The science of earthquakes. what is seismology? <http://www.seismo.unr.edu/Monitoring>. Last accessed on 10/08/21.
- [2] S. V. C. Alejandro. Sistema de alerta temprana de movimientos teñuricos en la universidad técnica del norte. Dissertação de pregrado, Facultad de Ingeniería de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Arequipa, 2020.
- [3] R. Anthony, A. Ringler, D. Wilson, and E. Wolin. Do low-cost seismographs perform well enough for your network? an overview of laboratory tests and field observations of the osop raspberry shake 4d. *Seismological Research Letters*, 90, 11 2018. doi: 10.1785/0220180251.
- [4] B. Haro and A. Elghazouli. Multi-purpose open-source and low-cost seismic sensing. seismo Revision 1, EEFIT Research Grant Scheme. Imperial College London, London, 2019.
- [5] J. A. Hurtado, editor. *Redes acelerográficas en el Perú*, Lima - Perú, 2020.
- [6] IGEMMET. Reporte especial de actividad volcánica del ubinas. seismo Revision 1, <http://ovi.ingemmet.gob.pe>, Perú, 2021.
- [7] Y. Jiang, P. Peng, L. Wang, and Z. He. Automated locating mining-induced microseismicity without arrival picking by weighted sta/lta traces stacking. *Sustainability*, 12 (9), 2020. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su12093665. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3665>.
- [8] M. T. M. Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en ecuador. *Revista Prisma Tecnológico*, 1(1): 21–28, 2017.
- [9] M. B. M. Manso and B. Caldeira. Design and Implementation of a Network Enabled High-Throughput MEMS-based Seismic Sensor. *Comunicações Geológicas*, 1(1): 5, 2 2017. ISSN 0873-948X. URL <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/209>.
- [10] J. A. Marta Moyano, Gabriela Iñigo. *Sismógrafo*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación., 2006. ISBN 950-00-0536-0.
- [11] M. Martinez. Seismic and vibration signal analysis and monitoring using labview. Dissertação de pregrado, School of Computing, Engineering and Physical Sciences, United Kingdom, 2016.
- [12] G. Murariu, C. Vlad, D. Munteanu, G. D. Mocanu, S.-N. Iancu, V. C. Domnitanu, C. Ionescu, R.-A. Tudoran, and S. Epure. Personal seismograph system - a functional prototype. In *2019 6th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, pages 1–5, 2019. doi: 10.1109/ISEEE48094.2019.9136139.
- [13] R. Ortiz. *Vulcanología, instrumentación*. Cabildo de Lanzarote, Islas Canarias, 2010.
- [14] C. J. M. Samanez. Evaluación de los niveles de ruido sísmico en la red sísmica satelital para la alerta temprana de tsunamis a cargo del instituto geofísico del perú. Dissertação de pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica, Arequipa, 2016.
- [15] B. E. Udiás A. Madariaga. Source mechanisms of earthquakes: Theory and practice. *University Printing House, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom*, 2014.
- [16] L. R. T. Velarde. Análisis de métodos geofísicos en la evaluación del volcán activo misti (región sur del perú). Dissertação de pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica, Arequipa, 2013.
- [17] J. Zhang, Y. Tang, and H. Li. STA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave Arrival. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(1):230–237, 11 2017. ISSN 0037-1106. doi: 10.1785/0120170099. URL <https://doi.org/10.1785/0120170099>.
- [18] W. Z. H. Zin Mar Cho. Design and construction of earthquake detection and location reporting system on google map. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 2(3):3–8, 2019.