

DETECCIÓN DE SISMOS MEDIANTE EL USO DE MICROCONTROLADORES EDUCATIVOS COMO PRÁCTICA INTRODUCTORIA AL MUNDO PROFESIONAL

DETECTION OF EARTHQUAKES USING EDUCATIONAL MICROCONTROLLERS AS AN INTRODUCTORY PRACTICE TO THE PROFESSIONAL WORLD

K. Cruz Conde¹
D. M. Esqueda Merino²
D. Mondragón Ugarte³

RESUMEN

La elección de una carrera profesional es un paso importante e incierto para los estudiantes de pregrado y con el surgimiento de nuevas tecnologías y áreas de especialización resulta complicado elegir un camino sin previa experiencia. En este trabajo se presenta la estrategia de apoyar a los alumnos con su decisión mediante una estancia voluntaria de investigación. Esta estancia consistió en el desarrollo de una red de dispositivos para la detección exclusiva de sismos y el sistema de alarma integrado en los mismos. Su planteamiento e implementación fueron llevados a término por alumnos de Ingeniería Mecatrónica, usando microcontroladores Arduino MKR IoT Carrier, la nube de Arduino y un ordenador con Python. El sistema actual utiliza distintas técnicas para poder determinar la llegada de la onda P y clasificar correctamente un sismo; entre ellas, se encuentra el análisis frecuencial, estadística avanzada e integración discreta. Los resultados evidencian el diverso camino recorrido por los alumnos para culminar con el proyecto y las competencias aprendidas.

ABSTRACT

Choosing a professional career is a crucial and uncertain step for undergraduate students, and with the surge of new technologies and specialized areas, it becomes challenging to choose a path without prior experience. This paper presents a strategy to support students in their decision-making process through a voluntary research internship. This internship involved the development of a network of devices for the exclusive detection of earthquakes and an integrated alarm system. The design and implementation were carried out by Mechatronic Engineering students, using Arduino MKR IoT Carrier microcontrollers, the Arduino cloud, and a computer with Python. The current system employs various techniques to determine the arrival of the P-wave and accurately classify it as an earthquake, including frequency analysis, advanced statistics, and discrete integration. The results highlight the diverse paths taken by the students to culminate the project and the skills acquired.

ANTECEDENTES

La Industria 4.0 presenta una buena oportunidad para la creación de nuevos productos que puedan ser útiles para la sociedad. A través de la integración de las tecnologías habilitadoras como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA), Analítica de Datos y Gemelos Digitales es posible tomar decisiones de una manera más rápida y eficiente. Conceptos como el de Sociedad 5.0 destacan la importancia de aprovechar estas tecnologías con un enfoque prioritario en el ser humano, lo cual debe volverse una prioridad en temas de

¹ Egresado. Departamento de Mecatrónica de la Escuela de ingeniería y Ciencias. Instituto Tecnológico de Estudios Superior de Monterrey Campus Estado de México. kasielcc@exatec.tec.mx

² Director de programa de ingeniería mecatrónica. Departamento de Mecatrónica de la Escuela de ingeniería y Ciencias. Instituto Tecnológico de Estudios Superior de Monterrey Campus Estado de México. donovan.esqueda@tec.mx

³ Egresado. Departamento de Mecatrónica de la Escuela de ingeniería y Ciencias. Instituto Tecnológico de Estudios Superior de Monterrey Campus Estado de México. a01748979@exatec.tec.mx

educación (Council for Science, Technology and Innovation, 2015).

En este sentido, un grupo de investigadores del Tecnológico de Monterrey ha buscado adaptar los conocimientos a estas nuevas necesidades. Por ejemplo, se ha hecho un análisis de competencias relevantes para la Industria 4.0 (García et al., 2021) y se han generado marcos de trabajo en Educación 4.0 para profesores (Miranda et al., 2021, 2023) y en desarrollo de productos de base tecnológica para estudiantes (Esqueda et al., 2019, 2024c), los cuales incluso han sido implementados y evaluados en proyectos involucrando colaboraciones con PyMES y transnacionales (Esqueda et al., 2024a, 2024b).

Sin embargo, no todo el trabajo en pro de una Educación orientada a la Sociedad 5.0 se da en el contexto de las clases. Es así como, se invitó a un selecto grupo de estudiantes a participar en un proyecto de investigación orientado a la identificación y comunicación de sismos a través del uso de dispositivos inteligentes. Dicha estancia enmarca el presente trabajo desde 2022 e incluso los primeros resultados tuvieron aplicación en una clase de Internet de las Cosas.

A partir de ello, surgió la pregunta de investigación siguiente:

“¿Es posible despertar el interés de los estudiantes de último semestre de pregrado a áreas aledañas a su especialidad y apoyarles en su elección de carrera profesional mediante un proyecto de investigación?”

En este trabajo se presentan los resultados alcanzados con el proyecto titulado “Detección de sismos mediante el uso de microcontroladores educativos” que se llevó a cabo bajo el formato extracurricular como una estancia de investigación voluntaria sin repercusión académica por Diego Mondragón Ugarte y Kasiel Cruz Conde.

METODOLOGIA

Un sismo, también conocido como terremoto, es un fenómeno natural que se produce por diversas causas, siendo la más común el movimiento de las placas tectónicas y la liberación de la energía acumulada dentro de la tierra. La energía liberada al momento de la ruptura del manto terrestre se propaga en forma de ondas de diferente magnitud y velocidad, causando vibraciones y movimiento en la superficie terrestre. Los sismos pueden variar en magnitud y duración, desde pequeños y casi imperceptibles hasta devastadores sucesos con efectos catastróficos en áreas extensas (Duggal, 2007).

Las ondas generadas por un evento sísmico se categorizan según ciertas características, como la velocidad de traslado, magnitud y dirección de la propagación. Principalmente, las dos ondas que se estudian para determinar si está ocurriendo un evento sísmico son la onda P y la onda S; la onda P es la más rápida de las ondas y puede trasladarse a través de sólidos, líquidos o gases. Aunque la onda P es sumamente rápida, no posee una gran cantidad de energía y actúa como señal de alarma al ser detectada por los sismógrafos (Saad, 2018).

Por otra parte, el Internet de las cosas (IoT) es una tecnología que permite la conexión e interconexión de dispositivos a través de Internet, lo que les permite comunicarse,

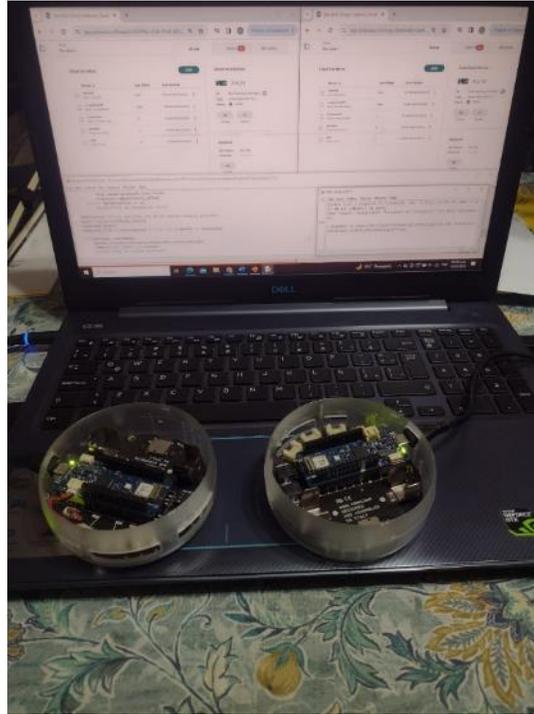
intercambiar datos y realizar tareas de forma remota, brindando nuevas posibilidades para el monitoreo de sismos y la interconexión de dispositivos en tiempo real. Aprovechando el auge que está teniendo esta tecnología, este proyecto opta por utilizar esta facilidad para romper con la barrera de la dependencia de los sistemas gubernamentales y ampliar la seguridad pública a toda persona que lo requiera, utilizando componentes ampliamente disponibles y software de código abierto.

Actualmente, ya existen algunas propuestas que utilizan el sistema Arduino para brindar soluciones a los sismos. Uno de estos ejemplos es el sistema desarrollado por Sebastián Alegría, quien conectó un sistema Arduino y una placa Ethernet a un detector sísmico para poder Twittear inmediatamente en caso de detectar un desastre. Otro ejemplo relacionado con el uso de este dispositivo para resolver esta problemática es la solución propuesta por la Universidad Autónoma de Occidente, que utiliza un fluido y los pines analógicos y digitales de la placa para detectar las vibraciones del ambiente (Vargas et al., 2013).

El proyecto surgió con base en el planteamiento original por parte del profesorado supervisor, con el objetivo de implementar un sistema de red de detección de sismos multifuncional basado en el descarte de falsos positivos de bajo costo. Con ello, se estipuló el análisis de funcionamiento y alcance del proyecto, el equipo de trabajo y los principales materiales para su fabricación, así como, el método de resolución para la culminación del proyecto. De igual forma, se especificaron las fechas de trabajo y los entregables en cada etapa del proyecto, así como, el reporte semanal con el fin de servir como referencia para la creación e implementación de un escrito teórico conclusivo del proyecto.

Para realizar lo mencionado previamente, se utilizó una placa Arduino MKR (Microcontrolador Key Radio) y el IMU (Unidad de Medición Inercial) integrado en la placa MKR IoT, que es un sensor que permite medir la aceleración a la que el dispositivo es sometido en tres ejes: “x”, “y”, y “z”. Los datos sísmicos requeridos para realizar las pruebas del sistema fueron descargados de la PEER Strong Motion Database.

La selección de las señales sísmicas se llevó a cabo, considerando criterios específicos, como la magnitud de los eventos y su relevancia para el estudio. Se optó por incluir un total de 32 señales sísmicas con magnitudes desde 3.9 hasta 7.36 en la escala de Richter, abarcando una variedad de intensidades para garantizar la representatividad de los datos. Posteriormente, estas señales fueron interpretadas en el programa SeismoSignal 3D 2024 y luego transferidas a un archivo Excel que fungió como base de datos para el programa en Python donde se realizaron las simulaciones. Los componentes y programas se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Componentes y programas del sistema

RESULTADOS

El estudiante Mondragón Ugarte, mediante investigación y trabajo previo con el dispositivo, encontró los medios necesarios para conectar los dispositivos Arduino entre sí mediante la Arduino Cloud y haciendo uso del protocolo OAuth2. Tras haber conseguido conectividad entre un ordenador y los dispositivos en campo, el alumno Cruz Conde, con la guía del profesor supervisor, pasó a la fase de investigación y pruebas, donde se encargó de recopilar la información suficiente para descomponer el fenómeno sísmico en señales cuantificables por sus herramientas de trabajo.

La propuesta de Cruz Conde para analizar la señal del acelerómetro fue dividir en dos procesos la lectura del fenómeno para evitar falsos positivos. En primera instancia, se determinó el inicio de la onda P, utilizando el método estadístico kurtosis; este método analiza un conjunto de datos específico y determina su simetría al evaluar si posee valores extremos (Saragiotis et al., 2002).

Tras haber determinado que la señal es posiblemente sísmica, se propuso utilizar los tres métodos siguientes para corroborar la lectura del sistema: Transformada Rápida de Fourier (FFT), integración discreta y detección del periodo de la señal; con estos métodos se buscó obtener los valores propuestos por Casciati y Giordano (2010), de la magnitud de frecuencia mayoritaria en la señal correspondiente al 50%, su velocidad pico (PGV) de un valor mínimo de 1cm/s y el periodo pico no mayor a 0.3s.

Para obtener un análisis completo de la incidencia de cada método y probar si los valores propuestos son adecuados para el sistema, se dividió la obtención de resultados por prueba.

En el caso de las tres pruebas posteriores a la detección del inicio de la onda P, se utilizaron 2 grupos muestrales distintos: 256 y 512 muestras, respectivamente. Estos valores fueron seleccionados después de considerar la frecuencia de muestreo del sistema, que fue de 100Hz (10ms), así como la restricción del método de FFT a potencias de 2 en Arduino, y la observación de que, según la literatura, la mayor cantidad de información sísmica se encuentra dentro de los primeros 3s tras ser detectada la onda P.

Detección de la onda P

Este apartado requirió ser dividido en dos secciones debido a que el comportamiento de la señal se altera dependiendo del nivel de intensidad del sismo. En la Figura 2 se puede observar que el sismo tiene una mayor probabilidad de ser detectado durante los primeros 100ms de la onda y después baja considerablemente; un dato importante de este comportamiento es notar que dicha detección es mayormente dentro del rango 0-1 del valor de kurtosis, lo que indica que, si se desea mejorar la detección de estos sismos, proponer un límite de kurtosis de la señal dentro de este rango (0.1) es la mejor opción.

En el caso de la Figura 3, para sismos de mayor magnitud, su probabilidad de ser detectados por el sistema es mayor entre los 70ms y 185ms. En relación con el comportamiento de la kurtosis, para mejorar la detección de estos sismos es necesario cubrir un rango más amplio y, por ende, determinar el valor mínimo de kurtosis dentro del rango 0-1 (0.1).

Figura 2. Prueba: detección de inicio de la onda P

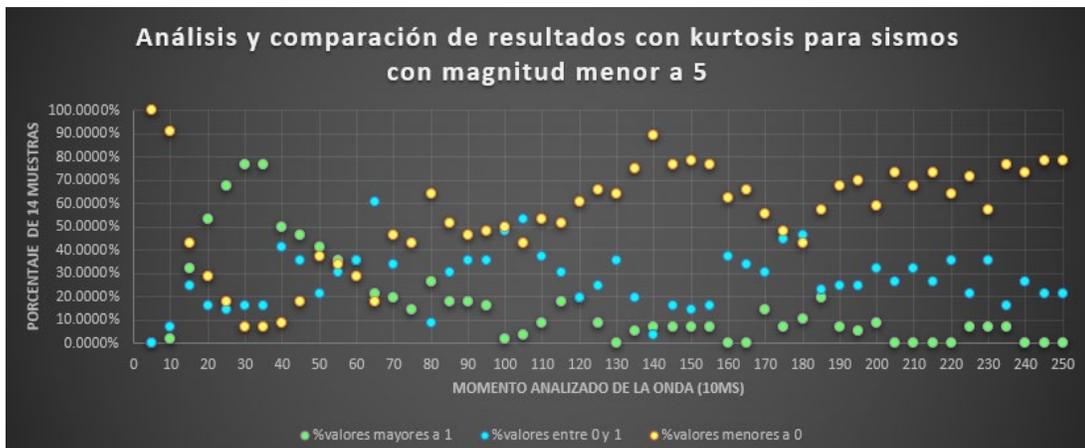
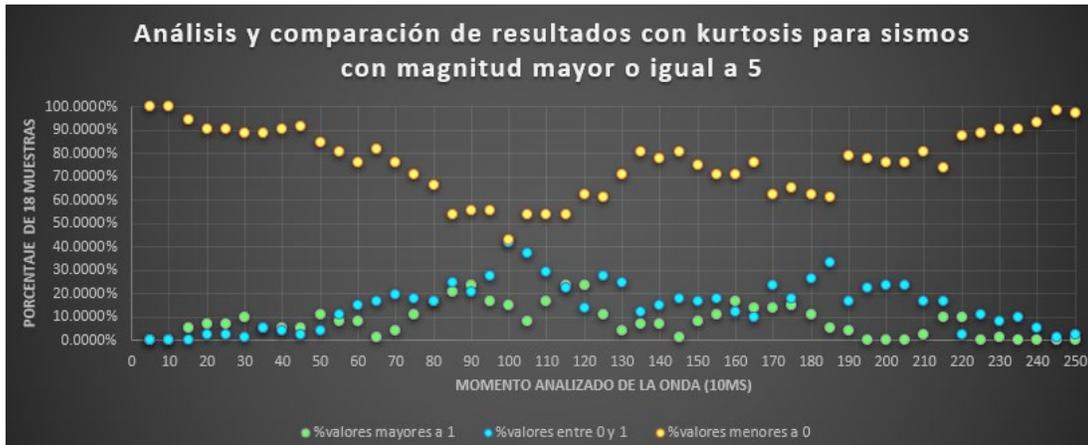


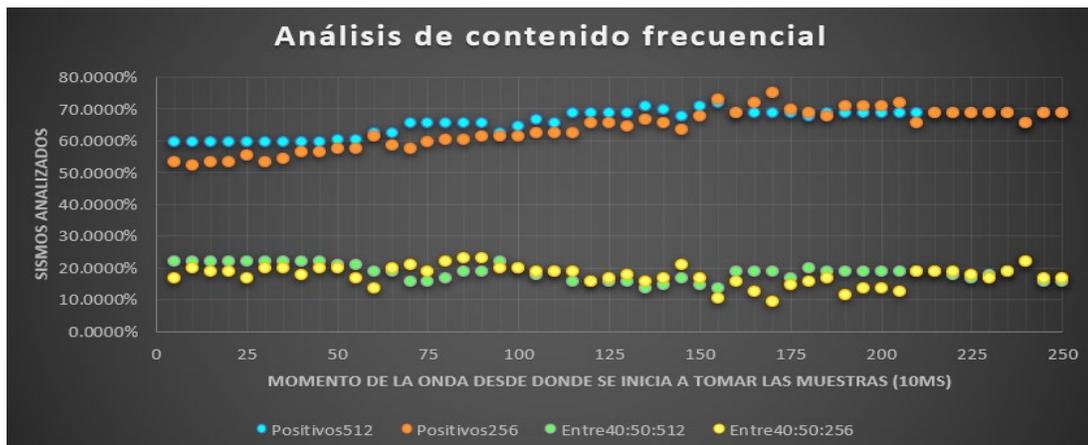
Figura 3. Prueba: detección de inicio de la onda P



Análisis de contenido frecuencial

En esta prueba, no existe una diferencia sustancial entre los dos grupos, como se puede apreciar en la Figura 4; ambos tienen al menos un 60% de probabilidad de ser detectados con un contenido frecuencial menor a 10Hz de al menos un 50% del total. Por lo tanto, es innecesario utilizar el grupo de 512 muestras. En este caso, para mejorar las probabilidades, es prudente reducir el porcentaje buscado a 40%, lo que aumentará las probabilidades de detección en un 20%.

Figura 4. Prueba: porcentaje de casos con valores positivos e inmediatamente inferiores de contenido frecuencial

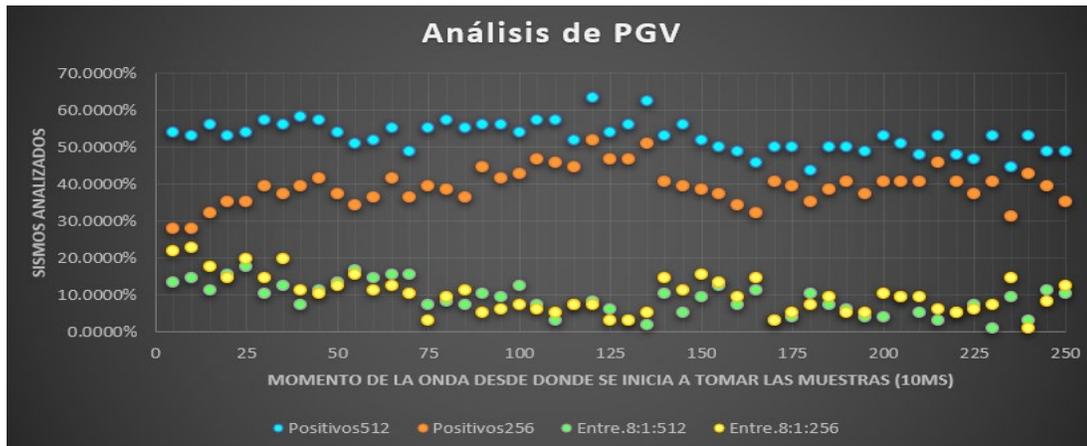


Análisis de PGV

Los resultados de esta prueba dieron pauta a la elección del grupo muestral idóneo para el dispositivo; aunque con el grupo de 512 muestras la probabilidad aumenta al menos un 10% con respecto al grupo de 256 muestras, por fundamento, tomar muestras fuera del rango de los 3s puede alterar los resultados, ya que existe la posibilidad de seguir recibiendo ruido después de este periodo o incluso detectar otro tipo de movimientos que aumentarían el PGV sin ser datos pertenecientes al sismo. Con respecto a la necesidad de cambiar o no el límite

de 1cm/s, hacerlo aumentaría en promedio un 15% la probabilidad de detectar esta característica dentro del sismo, como se muestra en la Figura 5, por ende, un PGV de 0.8cm/s es la mejor opción.

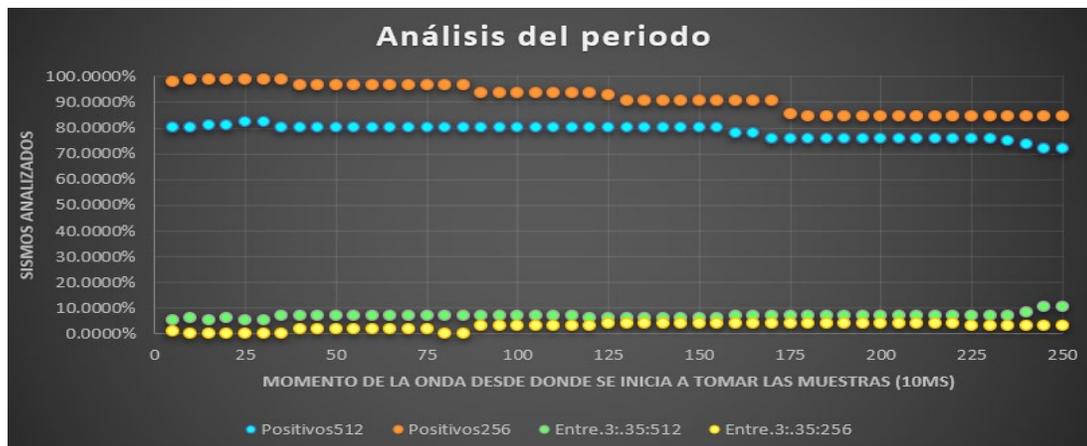
Figura 5. Prueba: porcentaje de casos con valores positivos o inmediatamente inferiores de PGV



Análisis del periodo

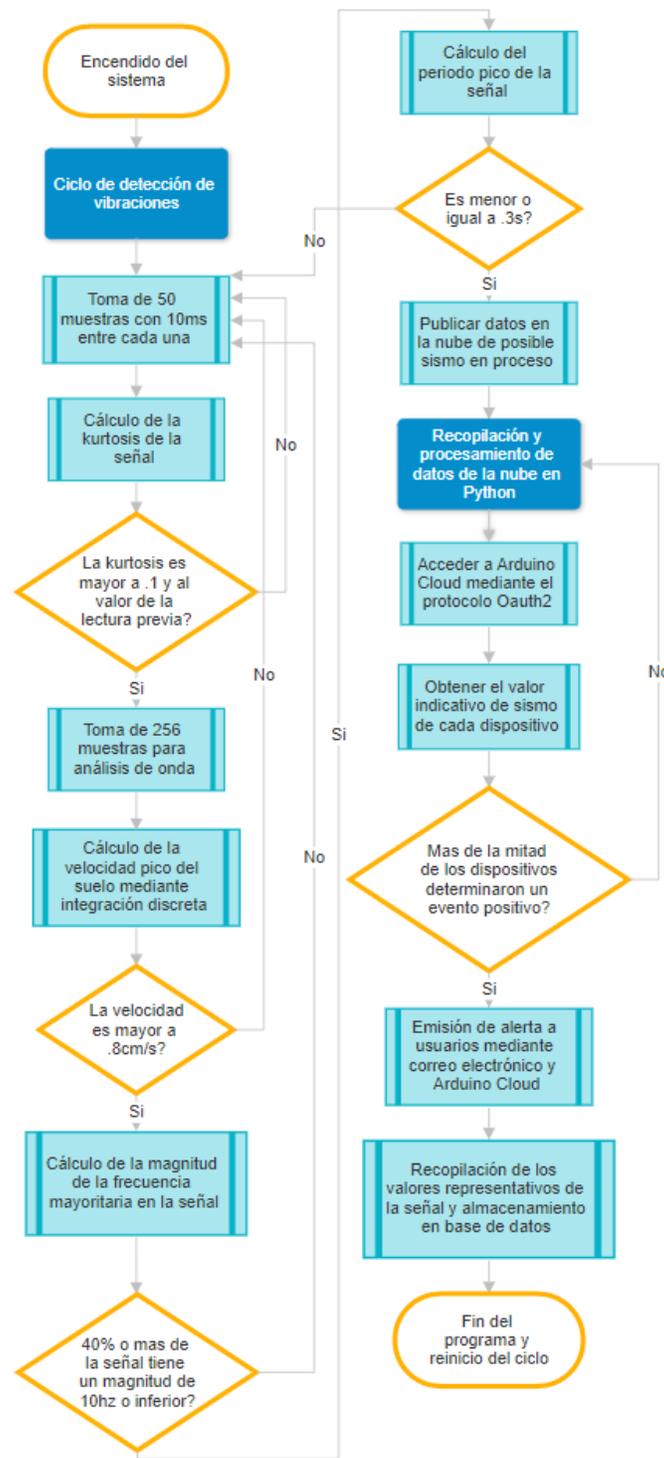
Con esta última prueba, no es necesario aumentar el valor límite de esta característica. La probabilidad de detección con el grupo de 256 muestras es del 90% en promedio, por lo que el límite propuesto de 0.3s es el indicado, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Prueba: porcentaje de casos con valores positivos o inmediatamente superiores del periodo



Finalmente, el alumno Cruz Conde, tras haber realizado un análisis general de los resultados obtenidos en cada prueba, propuso la arquitectura del programa, apreciable en la Figura 7.

Figura 7. Propuesta de arquitectura para la detección de sismos mediante Arduino, Arduino Cloud y Python



CONCLUSIONES

La estancia de investigación voluntaria demostró ser una herramienta eficaz para desarrollar habilidades útiles para el mundo laboral y encausar a los alumnos en su vocación. Hoy en día, el estudiante Mondragón Ugarte trabaja en una consultora para el sector automotriz como programador QA y el estudiante Cruz Conde está preparándose para iniciar una maestría en ciencia de datos y machine learning en Alemania. Es posible brindar una mejor preparación a los alumnos siempre que se cuenten con las herramientas necesarias y la disposición de los involucrados. El proyecto presenta una opción alcanzable para alumnos de pregrado; la propuesta del uso de kurtosis y los parámetros a identificar del sismo lo convierten en una propuesta sólida y eficaz para introducir a los alumnos en un problema interdisciplinario del mundo real.

BIBLIOGRAFÍA

- Casciati, F., & Giordano, M. (Eds.) (2010, June 28- July 4). *Structural Health Monitoring 2010*. Proceedings of the Fifth European Workshop on Structural Health Monitoring held at Sorrento, Naples, Italy. DEStech Publications, Inc. <https://www.destechpub.com/product/structural-health-monitoring-2010-2/>
- Council for Science, Technology, and Innovation (2015). *Report on the 5th Science and Technology Basic Plan*. Council for Science, Technology, and Innovation. Government of Japan. https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf
- Duggal, S. (2007). *Earthquake-Resistant Design of Structures* (2nd Ed). Oxford University Press. https://www.academia.edu/42009122/Earthquake_Resistant_Design_of_Structures_Second_Edition_Shashikant_K_Duggal?auto=download
- Esqueda, D., Delgado, F., Morano, H., & García, A. (2019, September 12-13). *Engineering product design education with a mixed design-thinking & lean start-up approach*. In DS 95: Proceedings of the 21st International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE 2019), University of Strathclyde, Glasgow. <https://doi.org/10.35199/epde2019.45>
- Esqueda, D., Bargalló, A., García, A., Maldonado, R., Chong, J., & Contreras, D. (2024a). *Enhancing student learning through multi-case collaboration industry partnerships for Product Design Education*. Technological Advancements & Innovations of Future of Education: Select Proceedings of FOE 2023, Singapore. Springer. <https://www.brownsbfs.co.uk/Product/Hosseini-Samira/Technological-Advancements-and-Innovations-in-Future-of-Education/9789819749300>
- Esqueda, D., González, G., Morano, H., San Vicente, A., López, A., & Quintero, D. (2024b). *Developing Industry 4.0 Skills: A case study for Engineering students*. Technological Advancements & Innovations of Future of Education: Select Proceedings of FOE 2023, Singapore. Springer. <https://www.brownsbfs.co.uk/Product/Hosseini-Samira/Technological-Advancements-and-Innovations-in-Future-of-Education/9789819749300>

- Esqueda, D., Jaramillo, R., Miranda, J., & Contreras, D. (2024c, March 18-20). *FRactal methodology for Industry 4.0 & Society 5.0-Driven New Product Development: empowering engineering students for startup innovation*. 2024 12th International Conference on Information and Education Technology (ICIET 2024), Yamaguchi, Japan. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://www.proceedings.com/74909.html>
- García, E., Esqueda, D., Solís, J., Villagómez, L., Morano, H., & Ramírez, R. (2021). Industry 4.0 Competencies as the core of online engineering laboratories. *Design and Technology Education: An International Journal*, vol. 26(3), 30-51. <https://hdl.handle.net/11285/649756>
- Miranda, J., Esqueda, D., & Ramírez, M. (2023, April 24-28). *Education 4.0 supporting remote, hybrid and face-to-face teaching-learning systems for academic continuity during COVID-19 global pandemic: The Mechatronic product design course in higher education as case study*. In eLmL 2023, the Fifteenth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, Venecia, Italia. <https://www.iaria.org/conferences2023/eLmL23.html>
- Miranda, J., Navarrete, C., Noguez, J., Molina, J., Ramírez, M., Navarro, S., Bustamante, R., Rosas, B., & Molina, A. (2021). The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Computers & Electrical Engineering*, 93. https://www.researchgate.net/publication/352777060_The_core_components_of_education_4_0_in_higher_education_Three_case_studies_in_engineering_education
- Saad, R. (2018). *Basic seismic refraction survey and data interpretation techniques*. Penerbit Universiti Sains Malaysia. https://www.researchgate.net/publication/323414714_Basic_seismic_refraction_survey_and_data_interpretation_techniques
- Saragiotis, C., Hadjileontiadis, L., & Panas, S. (2002). PAI-S/K: A robust automatic seismic P phase arrival identification scheme. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 40(6), pp. 1395-1404. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1020271>
- Vargas, D., Rodríguez, E. y Otero, J. (2013). Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino. *Revista de Ingenierías USBMED*. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/290>