

Proyecto de Ingeniería Aplicada

Sistema para la adquisición de datos de vibraciones basado en el “KIT MOLA”

Acquisition System of vibration data based on the “MOLA KIT”

Edgar Roberto Ramos Silvestre¹.

Valeria Isabel Águila Andía².

Andrés Hernán Zeballos Herbas³.

1. Ingeniero Electrónico, Maestría en Tecnología de Cómputo, Director Dpto. de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Privada del Valle Cochabamba. eramoss@univalle.edu

2. Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Privada del Valle Cochabamba.

aav0025285@est.univalle.edu

3. Estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Privada del Valle Cochabamba.

zha0022758@est.univalle.edu

RESUMEN

El simulador sísmico (o mesa vibratoria) es un aparato de ensayos experimentales para poner a prueba una estructura ante vibraciones generadas. Ese aparato de prueba es capaz de imponer vibraciones a elementos y/o modelos de estructuras, reproduciendo el movimiento del suelo en caso de terremotos. Por eso, los simuladores sísmicos son ampliamente utilizados dentro del campo de la ingeniería como herramienta fundamental para investigar la eficacia de nuevos materiales, dispositivos y técnicas constructivas antisísmicas. En el presente proyecto se desarrolló una mesa vibratoria o simulador sísmico de un eje, donde la frecuencia y periodo del movimiento se controlan mediante un dispositivo móvil de uso personal, los valores de frecuencias pueden ser definidos por el usuario. Adicionalmente, se mide la aceleración de la estructura con referencia a los tres ejes X, Y, y Z en la parte superior de la estructura armada con el “Kit MOLA”.

Palabras claves: Aceleración. Frecuencia. Mesa vibratoria. Periodo.

ABSTRACT

The seismic simulator (or vibrating table) is an experimental testing device to test a structure

against generated vibrations. This test device is capable of imposing vibrations on elements and/or models of structures, reproducing the movement of the ground in case of earthquakes. That is why seismic simulators are widely used within the field of engineering as a fundamental tool to investigate the effectiveness of new materials, devices and anti-seismic construction techniques. In the present project, a vibrating table or seismic simulator of an axis was developed, where the frequency and period of the movement are controlled by a mobile device for personal use, the frequency values can be defined by the user. Additionally, the acceleration of the structure is measured with reference to the three X, Y and Z axes at the top of the structure armed with the “MOLA Kit”.

Keywords: Acceleration. Frequency. Period. Vibrating table.

INTRODUCCIÓN

El daño parcial o colapso de las construcciones durante y después de un sismo es una de las mayores causas de víctimas humanas, disturbios sociales y pérdidas económicas; es por esta razón que es indispensable diseñar y construir las edificaciones para que resistan eventos sísmicos sin colapsar y sin daños en la estructura.

Una solución planteada para reducir el riesgo estructural de experimentar deformaciones es la disipación de energía vibracional en los amortiguadores estructurales (Montanaro, 2001). En el Edificio H de la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco se efectuaron pruebas de vibración sísmica. Se realizó el registro de la vibración antes y después del refuerzo estructural al que se sometió al edificio, esto permitió determinar la reducción del periodo fundamental de vibración, lo que implica un aumento en la rigidez de la estructura (Ramírez, 2002).

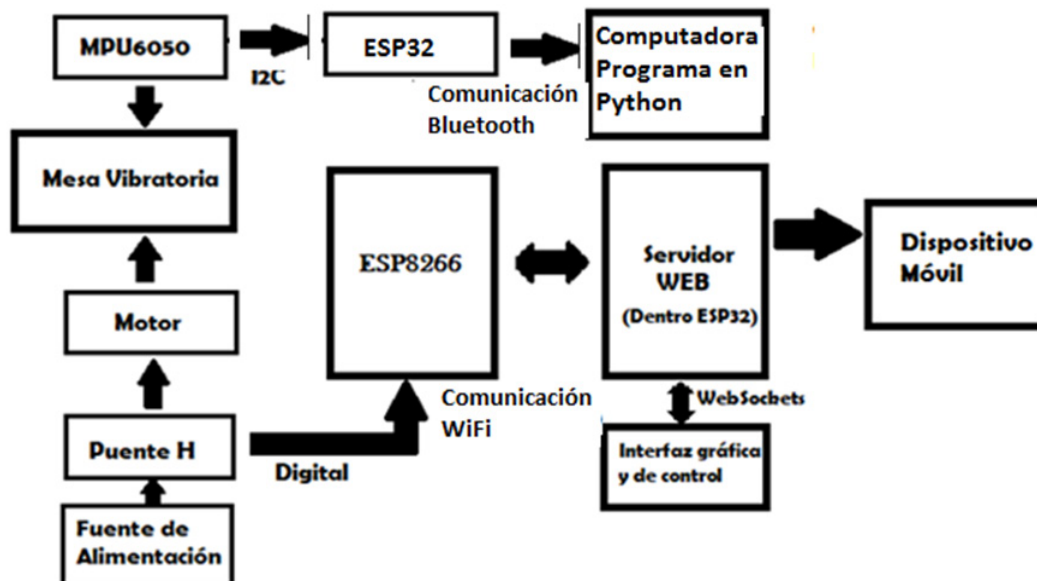
En la actualidad existe una diversidad de softwares para el análisis dinámico y sísmico de estructuras, utilizados para definir estructuras, materiales y cargas de sistemas estructurales planos y espaciales. El “Kit MOLA” es una nueva manera de aprender sobre estructuras y contiene varias piezas metálicas imantadas que permiten armar diferentes tipos de estructuras.

En el presente proyecto se desarrolló un prototipo para realizar la adquisición de datos de vibraciones utilizando el “Kit MOLA” para simular la estructura. El proyecto consiste en una plataforma que se mueve en ambas direcciones y, de acuerdo con la frecuencia, se producen las vibraciones. El proyecto contempla la implementación de la parte electrónica, control del motor y la programación de una interfaz web básica para generar las vibraciones. Una parte importante del proyecto es la implementación de un sistema electrónico para realizar las mediciones de vibraciones en el “Kit MOLA” y poder graficar el comportamiento de las variables X, Y, y Z en una computadora.

DESARROLLO DEL PROTOTIPO

En la Figura 1 se presenta un diagrama de bloques general del proyecto que permite identificar la relación que tienen cada una de las partes.

Figura 1. Diagrama de bloques del proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Inicialmente, se ejecutó un análisis de requerimientos para un sistema de análisis estructural dinámico y sismo resistente, en el contexto de las asignaturas de Análisis Estructural e Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Ingeniería Civil.

Los requerimientos para la implementación del proyecto fueron:

- Contar con módulos electrónicos que permitan cambiara de giro a un motor DC y de esa forma generar vibraciones en la estructura.

- Los periodos de cambio de giro deben ser administrados por el usuario de forma inalámbrica.
- Contar con un sistema de adquisición de datos para el envío a una PC.

De acuerdo con estos requerimientos, se procedió a determinar las características que se van a implementar en el sistema. Una vez determinados los requerimientos del sistema, se procedió a desarrollar los elementos de hardware y software necesarios para cumplir con los mismos. Cada uno de estos elementos se implementó y probó de manera independiente, de forma iterativa, hasta conseguir su funcionamiento correcto, siguiendo un enfoque sistémico.

Empezando con el diseño del prototipo, se tomaron partes recicladas de una impresora, siendo esta la base del prototipo. Se acopló un motor DC de 12V al riel para poder así controlar la base instalada a la misma, dicho motor estuvo conectado a un puente H para su correcto funcionamiento, y este último, conectado al microcontrolador ESP8266.

Muchos de los proyectos en la actualidad utilizan microcontroladores para la implementación del prototipo, se debe tomar en cuenta la selección de dispositivo adecuado que permita satisfacer las necesidades del proyecto (Williams, 2002).

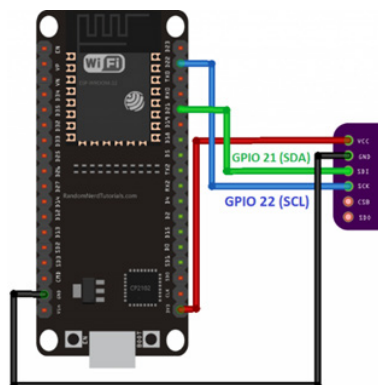
Haciendo uso de la interfaz IDE de Arduino, se procedió a programar un sistema de control mediante una interfaz web básica dentro el microcontrolador, siendo esta una alternativa de fácil acceso para el usuario al momento de manipular los datos de funcionamiento del simulador.

El usuario puede ingresar valores de periodos los cuales serán enviados al microcontrolador de forma inalámbrica, para posteriormente ser procesados y enviados por las terminales al puente H para así enviar los pulsos al motor y empezar con las vibraciones.

Se ensambló el módulo con el sensor al “Kit MOLA” para poder realizar una monitorización de las vibraciones realizadas por la mesa, haciendo uso del sensor MPU6050, el cual estuvo conectado por medio de comunicación I2C a otro microcontrolador ESP32, a los pines 21 y 22 siendo estos pines los destinados a este tipo de comunicación.

La información recolectada es enviada por medio de una comunicación serial (Bluetooth) a un computador en donde esta es procesada, creando una interfaz web la cual será actualizada en tiempo real y mostrará una gráfica de los datos recolectados por el sensor. En la Figura 2 se presenta un esquema de conexión del microcontrolador con el sensor.

Figura 2. Circuito de conexión con el sensor MPU6050



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Una vez que se comprobó el funcionamiento de los elementos individuales, se procedió a la integración de cada uno de ellos en el sistema completo, y cumpliendo las pruebas correspondientes, de manera iterativa, hasta conseguir que todos los elementos funcionen correctamente dentro del sistema.

Luego de tener el sistema funcionando, se procedió a realizar su validación comparando los resultados obtenidos. Se realizaron las pruebas y modificaciones necesarias para lograr resultados acordes con los requerimientos planteados.

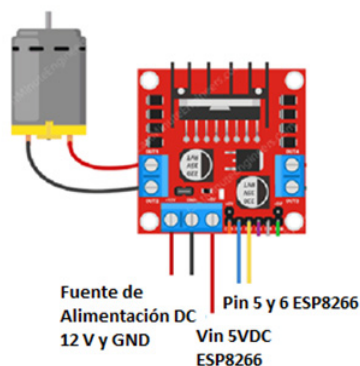
1. Diseño del hardware

El hardware en el proyecto está dividido en dos etapas, la primera contempla la estructura de la mesa vibratoria y el control del motor para realizar los cambios de giro y de esa forma producir vibraciones, la segunda parte contempla la implementación de un sistema de monitoreo de las variables X, Y, y Z para la recolección y visualización de datos en la computadora.

1.1. Mesa vibratoria

En este segmento se encuentran: la mesa construida a partir de piezas recicladas de una Impresora; un motor de 12 Voltios; un puente H; una fuente de alimentación, y un microcontrolador ESP8266. En la Figura 3 se muestra el circuito de conexión del motor y puente H.

Figura 3. Circuito del motor y el puente H

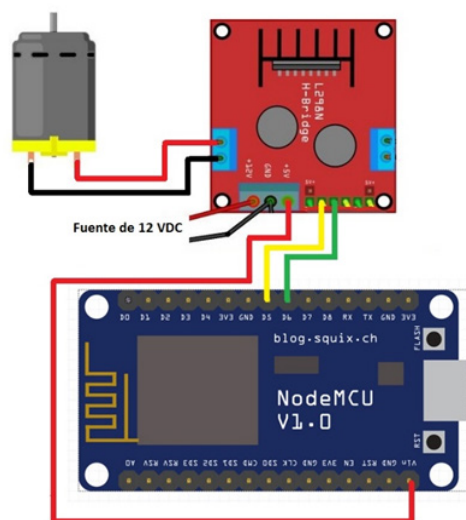


Fuente: Elaboración propia, 2019.

EL motor de 12V será responsable de la vibración de la mesa o base donde está armada una estructura con el “Kit MOLA”, se encuentra conectado con la correa del riel. Este mismo está alimentado por una fuente externa por medio de un puente H, el cual es controlado, a la vez, por un microcontrolador ESP8266, y envía una serie

de señales haciendo que la rotación del motor cambie de giro según la frecuencia que se asigna por medio de la interfaz gráfica en un dispositivo móvil, provocando que la base sobre las rieles empiece a vibrar. En la Figura 4 se presenta un esquema de conexión del circuito para el control de la mesa.

Figura 4. Esquema de conexión del circuito del control de la mesa



Fuente: Elaboración propia, 2019.

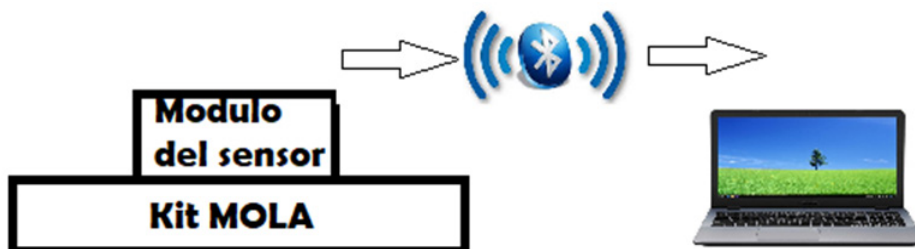
La mesa deberá ser alimentada con una fuente de corriente continua a 12 Voltios y con mínimo de 2 Amperios, ya que esta deberá abastecer al circuito formado por Microcontrolador, puente H y motor.

El microcontrolador ESP8266 es muy utilizado por sus características de tamaño y bajo precio, en la actualidad tiene buena aceptación en la implementación de prototipos para diferentes aplicaciones y se cuenta con mucha información en internet sobre su funcionamiento (ESP8266, 2019)

1.2. Sistema de recolección y visualización de datos

En este segmento se encuentra: el sensor MPU6050; un microcontrolador ESP32; el “Kit MOLA” y un computador. En la Figura 5 se presenta un diagrama de bloques de la recolección de datos del sensor instalado en la estructura armada con el “Kit MOLA”.

Figura 5. Diagrama del bloque de recolección de datos



Fuente: Elaboración propia, 2019.

El sensor estará instalado en el “Kit MOLA” y conectado por medio de comunicación I2C al microcontrolador ESP32. El microcontrolador es responsable de capturar los datos del sensor para poder procesarlos y, posteriormente, enviarlos

inalámbricamente por medio de bluetooth a un computador. En la Figura 6 se presenta una fotografía de la estructura armada con el “Kit MOLA” y la implementación del sensor para la recolección de los datos.

Figura 6. Fotografía mostrando el “Kit MOLA”, el módulo sensor y la mesa



Fuente: Elaboración propia, 2019.

El sensor y el microcontrolador serán alimentados por medio de una batería Lipo de 4.2V, ambos estarán integrados en un Shield fabricado en una placa perforada, ya que el circuito es bastante simple, siendo escaso el número de pistas.

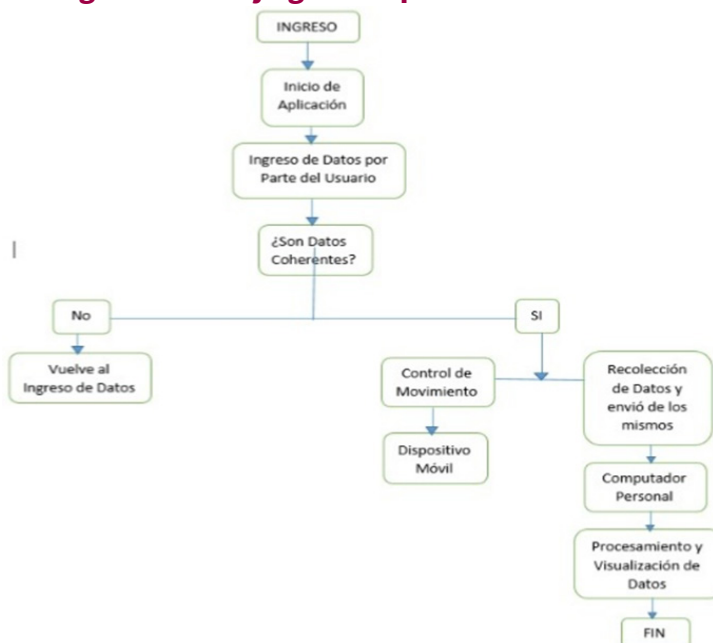
En la parte del computador se tiene un Script Python, el cual estará encargado de recolectar los datos enviados por el microcontrolador para también realizar una gráfica en tiempo real de los datos recolectados, siendo esta más consistente para un estudio más profundo de los efectos de las vibraciones.

El ESP32 es una placa de desarrollo y de bajo tamaño que forma parte de la serie ESP32. Esta placa tiene un conjunto de periféricos, el pinout ESP32 está optimizado para la creación de prototipos (Espressif, 2019).

2. Diseña del software

En cuanto al software utilizado para este proyecto se puede dividir en dos etapas, la primera encargada del control de las vibraciones en el prototipo y la segunda encargada de recolección y procesamiento de datos. En la Figura 7 se presenta un diagrama de bloques general del sistema.

Figura 7. Diagrama de flujo general para el diseño del Software



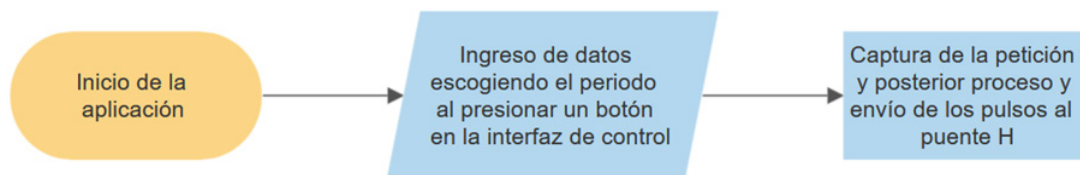
Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.1. Control de mesa o base

En esta etapa se desarrolló un software sencillo para el control de la vibración de la mesa o base sobre la cual está la estructura. En la Figura 8 se

presenta el diagrama de flujo del programa que permite generar vibraciones en función a cambios de frecuencia.

Figura 8. Diagrama de flujo del programa para generar las vibraciones



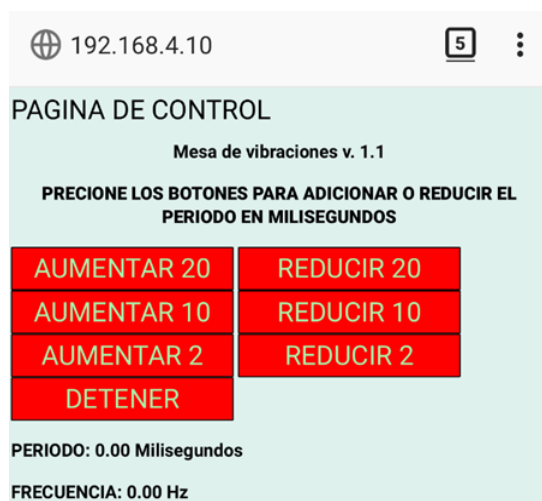
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se desarrolló un código basado en la IDE de Arduino, el cual se encarga de crear un servidor web en el cual se encuentra un script HTML, acá es donde el usuario podrá ingresar los datos para el simulacro presionando diferentes botones, que se encargaran de aumentar o disminuir el valor del periodo en milisegundos de las señales que se

envían al motor, dichos datos se envían de forma instantánea al microcontrolador y este realiza las tareas correspondientes para controlar la mesa.

En la Figura 9 se presenta la captura de pantalla de la interfaz del usuario para aumentar o reducir la frecuencia de oscilación de la base del prototipo.

Figura 9. Captura de pantalla de la interfaz de control

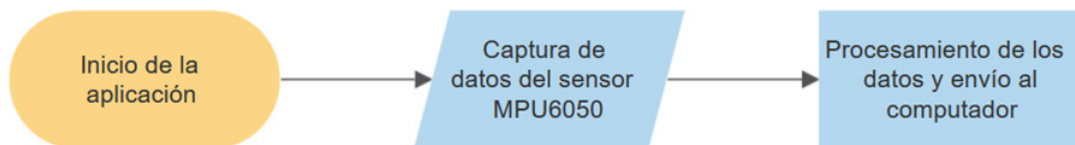


Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.2. Recolección y procesamiento de datos

En esta etapa, se ejecutó un código basado en la IDE de Arduino, encargada de recolectar los datos del sensor MPU6050, conectado por I2C con el microcontrolador. En la Figura 10 se presenta

el diagrama de bloques del software que se implementó para la recolección y visualización de los datos de las variables.

Figura 10. Diagrama de flujo para la recolección y visualización de datos


Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el programa se configura las direcciones necesarias para realizar una comunicación exitosa con el sensor. Una vez obtenidos los datos, procedemos a efectuar un tratamiento de estos, cumpliendo con una simple división con una escala, misma que podemos encontrar la hoja de datos del sensor. Esta conversión hará posible la lectura de los datos en centímetros para una mejor comprensión a la hora de realizar la interfaz gráfica.

Con ayuda de la librería MPU6050 de Arduino se podrá obtener los datos necesarios para poder realizar las gráficas, se podrá obtener el desplazamiento y los datos del acelerómetro en los ejes X, Y, y Z.

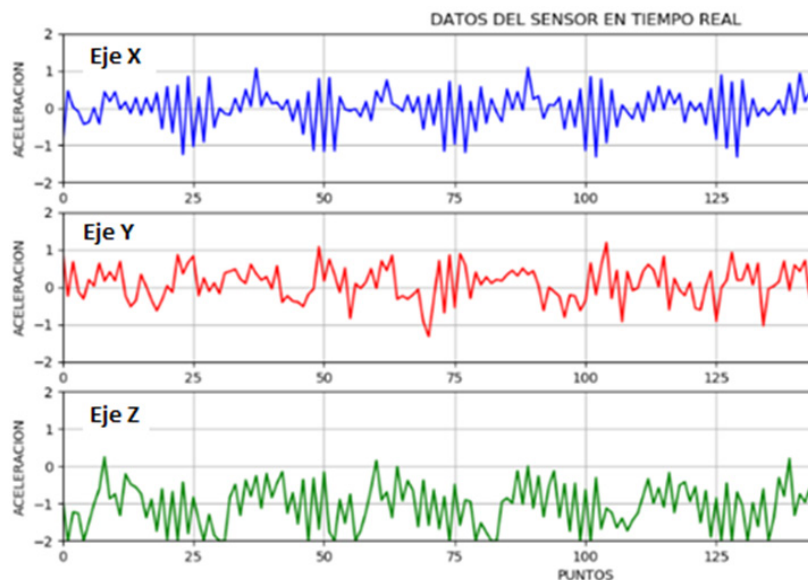
La librería básicamente realiza el cálculo y la adecuación de la aceleración a fuerza G (aceleración de la gravedad), que sería el equivalente a la aceleración de la gravedad, usando un factor de escala correspondiente de

16384, especificado en la hoja de datos del sensor para obtener valores en la unidad de m/s^2 (TDK, 2013).

2.3. Visualización gráfica

Para la visualización de los datos en la computadora se implementó un script utilizando Python y la librería MATPLOTLIB; y configurando la computadora para poder tener una conexión por medio de bluetooth con el microcontrolador, se procede a enviar los datos a una terminal COM#, el script se encargará de capturar los datos y posteriormente graficarlos, creando una interfaz amigable para el usuario.

En la Figura 11 se presenta las gráficas obtenidas de la estructura cuando el sistema está funcionando, en las gráficas el eje horizontal representa el número de muestras que realiza el sistema de adquisición y el eje vertical representa el valor de la aceleración en m/s^2 .

Figura 11. Graficas obtenidas de la estructura


Fuente: Elaboración propia, 2019.

CONCLUSIONES

En el presente artículo se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se implementó un prototipo para la simulación de vibraciones y se probó con una estructura armada con el “Kit MOLA”.
- Se realizó un sistema capaz de simular vibraciones sísmicas para estructuras del “Kit MOLA”, gracias al uso de materiales de fácil acceso y bajo costo como ser las partes recicladas de una impresora y microprocesadores económicos como ser el ESP32 y el ESP8266, siendo estos capaces de abastecer completamente las necesidades de este proyecto, y realizar las tareas sin ningún tipo

de problema, al momento de recuperar los datos del sensor o de enviarlos por diversos métodos como ser I2C o serial tanto a un servidor web como a un computador con ayuda de scripts y programas desarrollados específicamente para la culminación de este proyecto.

- Se realizó la interfaz gráfica para que el usuario pueda controlar las frecuencias de las vibraciones y de esa forma realizar varias pruebas.
- Se implementó un sistema de adquisición de datos para monitoreo de las variables y la visualización en una computadora y así realizar un análisis de las vibraciones a distintas frecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESP8266 (2019), ESP8266 Community Forum, <https://www.esp8266.com/>, Último ingreso en: 29/02/2020.
- Espressif (2019), ESP32-DevKit, <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32-devkit/overview>, 29/02/2020.
- Montanaro, M. I. (2001). “Sistema de control de vibraciones estructurales de gran altura”, Informes de la Construcción, Vol. 53, No. 477. pp. 31-39. <https://doi.org/10.3989/ic.2002.v53.i477.640>
- Ramírez, M. & Caamaño, J. A. (2002). “Análisis de vibración sísmica y Ambiental de un edificio antes y después de su refuerzo mediante dos cuerpos anexos”, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- TDK (2013), MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4, <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>, Último Ingreso en 07/10/2020
- Williams (2002). Microcontroller projects using the Basic Stamp (2nd ed.). Focal Press. p. 344. ISBN 978-1-57820-101-3.

Derechos de Autor (c) 2020 Edgar Roberto Ramos Silvestre; Valeria Isabel Águila Andia; Andrés Hernán Zeballos Herbas.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resum en de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)