



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

“Frecuencias determinantes producidas por las vibraciones del puente Reque Chiclayo”

TESIS

Para optar el título profesional de
LICENCIADO EN FÍSICA

Investigadores:

Bach. Huamán Santos Darwin

Bach. Rojas Ramos Pedro Alfredo

Asesor:

Msc. García Roque Francisco

Lambayeque 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

“Frecuencias determinantes producidas por las vibraciones del puente Reque Chiclayo”

TESIS

Para optar el título profesional de

LICENCIADO EN FÍSICA

Aprobada ante el siguiente jurado:

Presidente

M.Sc Rodriguez La Barrera Alejandro Wilson

Secretario

M.Sc Calderón Bacón Jorge Luis


Vocal

M.Sc Abanto Castillo Jaime

Lambayeque 2023



Asesor
M.Sc García Roque Francisco



Bah. Huamán Santos Darwin

Tesista



Bach. Rojas Ramos Pedro Alfredo

Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 006-2023-D/FACFyM

Siendo las 10 am del día 27 de enero del 2023, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/and-osde-nyo?hs=224>, los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada: "FRECUENCIAS DETERMINANTES PRODUCIDAS POR LAS VIBRACIONES DEL PUENTE REQUE CHICLAYO"

Designados por Decreto N°029-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 24 de noviembre de 2020.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

M.Sc. Alejandro Wilson Rodríguez La Barrera	Presidente
Mg. Jorge Luis Calderón Bacón	Secretario
Lic. Fís. Jaime Abanto Castillo	Vocal

La tesis fue asesorada por el docente Lic. Fís. Francisco García Roque, nombrado por Decreto N°029-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 24 de noviembre de 2020

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 041-2023-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 10 de enero de 2023.

La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **Rojas Ramos Pedro Alfredo y Huamán Santos Darwin**, y tuvo una duración de 33 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de **(17) (Diecisiete)** en la escala vigesimal, mención **(BUENO)**.

Por lo que quedan aptos para obtener el Título Profesional de **Licenciado en Física** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10: 07 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

M.Sc. Alejandro Wilson Rodríguez La Barrera
Presidente

Mg. Jorge Luis Calderón Bacón
Secretario

Lic. Fís. Jaime Abanto Castillo
Vocal

Lic. Fís. Francisco García Roque
Asesor





CONSTANCIA DE SIMILITUD N° 21-2023- VIRTUAL-UI-FACFyM

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, hace constar:

Que, el Bachiller **HUAMÁN SANTOS DARWIN**, de la Escuela Profesional de **FÍSICA**, ha cumplido con presentar la **SIMILITUD DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS (TURNITIN)**, como requisito indispensable para la sustentación de la tesis, según detalle:

- **TÍTULO DE LA TESIS:** “FRECUENCIAS DETERMINANTES PRODUCIDAS POR LAS VIBRACIONES DEL PUENTE REQUE CHICLAYO”

- **ÍNDICE DE SIMILITUD:** 19 %

- **ASESOR:** Lie. Fis. FRANCISCO GARCÍA ROQUE

Se expide la presente constancia, para la tramitación del Título Profesional, dispuesto en la Directiva para la evaluación de originalidad de los documentos académicos, de investigación formativa y para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG.

Lambayeque, 22 de febrero de 2023

Dr. WALTER ARRIAGA DELGADO
DIRECTOR - UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE SIMILITUD N° 20-2023- VIRTUAL-UI-FACFyM

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, hace constar:

Que, el Bachiller **ROJAS RAMOS PEDRO ALFREDO**, de la Escuela Profesional de **FÍSICA**, ha cumplido con presentar la **SIMILITUD DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS (TURNITIN)**, como requisito indispensable para la sustentación de la tesis, según detalle:

- **TÍTULO DE LA TESIS:** “FRECUENCIAS DETERMINANTES PRODUCIDAS POR LAS VIBRACIONES DEL PUENTE REQUE CHICLAYO”

- **ÍNDICE DE SIMILITUD:** 19 %

- **ASESOR:** Lie. Fis. FRANCISCO GARCÍA ROQUE

Se expide la presente constancia, para la tramitación del Título Profesional, dispuesto en la Directiva para la evaluación de originalidad de los documentos académicos, de investigación formativa y para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG.

Lambayeque, 22 de febrero de 2023

Dr. WALTER ARRIAGA DELGADO
DIRECTOR - UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Declaracion jurada de originalidad

Yo Bach. Huamán Santos Darwin, Bach. Rojas Ramos Pedro Alfredo, investigadores principales y Mag. García Roque Francisco asesor del trabajo de investigación “Frecuencias determinantes producidas por las vibraciones del puente reque Chiclayo” declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrará lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que diera lugar.

Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, enero del 2023

Investigadores:

Bach. Huamán Santos Darwin

Bach. Rojas Ramos Pedro



Asesor

Mgs. García Roque Francisco

Dedicatoria 1

Dedico de manera especial a mis padres Nelly Santos Troyes y Leoncio Huamán Sembrera, ellos fueron el principal cimiento para formarme profesionalmente, forjaron en mí una persona con valores y deseos de superación. Gracias por confiar en mí y por el apoyo brindado a cada momento.

Gracias Dios por conceder tener a mis padres aun a mi lado.

Dedicatoria 2

Este trabajo fruto de un gran esfuerzo en conjunto con mi colega Darwin Huaman Santos y nuestro asesor Francisco García Roque, yo Pedro A. Rojas Ramos se lo dedico a Dios, a mi Padre Pedro Rojas Velasquez y mi Madre Zulema Ramos Gonzales, mis hermanos y a todos los profesores que con su dedicación, forjaron en nosotros los profesionales que ahora somos.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Objetivos	6
1.1.1 General.	6
1.1.2 Específicos.	6
1.2 Antecedentes	6
1.2.1 Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones, Puente Cunyac	6
1.2.2 Evaluación estructural de puentes por medio de vibraciones aplicada a modelos a escala.	6
1.2.3 Mediciones y análisis de vibraciones en el puente Virilla, ruta nacional N° 1	7
2. MÉTODOS Y MATERIALES	8
2.1 Ubicación geográfica	8
2.2 Diseño experimental	8
2.2.1 Variables de investigación.	9
2.3 Técnicas de medición	9
2.3.1 Licencia.	12
2.3.2 Calibración del MPU6050.	12
2.4 Equipos y Materiales	14
2.4.1 Arduino Uno R3.	14
2.4.2 Arduino Mega 2560 R3	14
2.4.3 Módulo MPU6050.	15
2.4.4 Módulo lector de memoria SD card (2 unidades)	16
2.4.5 Memorias micro SD card (2 unidades).	17
2.4.6 Protoboard 830 (2 unidades).	17
2.4.7 Cargador Power bank 10000 MAH (2 unidades).	17
2.4.8 Laptop Lenovo Ideapad 110.	17
3. RESULTADOS	18
3.1 Procesamiento de datos en el bloque A y bloque B del día 01/03/2020	18
3.2 Transformada rápida de Fourier	19
3.3 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) del bloque A y del bloque B del día 1/3/2020	19
3.3.1 Gráfica Frecuencia en función al espectro de frecuencia del bloque B.	20
3.4 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) del bloque B del día 4/3/2020	21
3.4.1 Gráficas de frecuencia en función al espectro de potencia del bloque B	21
3.5 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) en el bloque A del día 4/3/2020	23
3.5.1 Gráfica frecuencia en función al espectro de potencia del bloque A	24

4	DISCUSIÓN	27
5.	CONCLUSIONES	28
6.	RECOMENDACIONES	29
7.	BIBLIOGRAFÍA	30
8.	ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Conexiones entre Placa Arduino y MPU6050.</i>	15
Tabla 2.	<i>Conexión entre placa Arduino y Módulo SD.</i>	16
Tabla 3.	<i>Frecuencia y periodos en los bloques A y B del puente Reque</i>	26

ÍNDICE DE FIGURAS

		8
Figura 1.	<i>Mapa de localización del Puente Reque.</i>	8
Figura 2.	<i>Puente Reque.</i>	10
Figura 3.	<i>Esquema de conexión del equipo 1.</i>	11
Figura 4.	<i>Esquema de conexión del equipo 2.</i>	11
Figura 5.	<i>Datos almacenados en la SD.</i>	13
Figura 6.	<i>Grafica Frecuencia en función al espectro de potencia del bloque B.</i>	20
Figura 7.	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje x en el bloque B</i>	22
Figura 8.	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje y en el bloque B.</i>	22
Figura 9.	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje z en el bloque B.</i>	23
Figura 10.	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje x en el bloque A.</i>	24
Figura 11	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje y en el bloque A.</i>	25
Figura 12	<i>Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje z en el bloque A.</i>	25

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se basa en la implementación de un sistema electrónico de medición de las vibraciones naturales y mecánicas producidas por el paso de vehículos. El lugar de investigación está ubicado en el Km 772 de la carretera Panamericana Norte

Para ello, se cuenta con un circuito que capta y almacena datos. Para adquirir los datos se emplearon materiales que nos permitieron medir estas variables, dos acelerómetros digitales (sensor de aceleración), un Arduino (Plataforma de creación electrónica) y dos módulos SD (encargado de almacenar datos). Una vez realizado su montaje, se obtuvieron una cantidad considerable de datos que son enviados a una PC. Sin embargo, cada punto de medición requirió un análisis, mediante una interfaz gráfica, desarrollada en Matlab.

Se pueden procesar y analizar las características dinámicas fundamentales de los sistemas estructurales, como las frecuencias de vibración natural, las frecuencias de tráfico vehicular, las formas modales y el amortiguamiento. Se discute la formulación y calibración del modelo estructural basado en resultados experimentales in situ. Una de las principales ventajas de esta investigación es el aprovechamiento de las vibraciones provocadas por las cargas existentes, sin interrumpir el funcionamiento de la estructura, el equipo utilizado es muy liviano, portátil y permite una evaluación rápida y confiable del comportamiento de la estructura en las condiciones obtenidas en el estudio. La frecuencia natural de vibración para el bloque A y B del puente Reque es de 8.6 Hz siendo el valor más frecuente de todos los días de investigación realizados.

Palabras clave

Análisis modal, vibración, frecuencia natural y amortiguamiento.

ABSTRACT

This research work is based on the implementation of an electronic system for measuring natural and mechanical vibrations produced by the passage of vehicles. The research site is located at Km 772 of the North Pan-American Highway.

For this, there is a circuit that captures and stores data. To acquire the data, materials were used that allowed us to measure these variables, two digital accelerometers (acceleration sensor), an Arduino (electronic creation platform) and two SD modules (loaded with data stores). Once it was assembled, a considerable amount of data was acquired and sent to a PC. However, each measurement point required an analysis, through a graphical interface, developed in MATLAB.

Fundamental dynamic characteristics of structural systems such as natural vibration frequencies, vehicular traffic frequencies, mode shapes, and damping can be processed and analyzed. The formulation and calibration of the structural model based on experimental results in situ are discussed. One of the main advantages of this research is the use of the vibrations caused by the existing loads, without interrupting the operation of the structure. The equipment used is very light, portable and allows a fast and reliable evaluation of the behavior of the structure in the conditions obtained in the study. The natural frequency of vibration for blocks A and B of the Reque bridge is 8.6 Hz, being the most frequent value of all the days of research.

Keywords

Modal analysis, vibration, natural frequency and damping.

1. INTRODUCCIÓN

En el Km 772 de la Panamericana Norte, está ubicado el puente Reque sobre el río Chancay, en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Tiene una longitud de 152 m. de largo Fig. 2.1, soportado por cuatro pilares. (Andrade Aguilar, 2008)

Debido a la alta flexibilidad del puente de Reque, está sujeto a excesivas deformaciones y fuertes vibraciones por el paso de vehículos. Como parte del estudio, se realizó un estudio experimental para determinar las propiedades dinámicas del puente y desarrollar un modelo estructural a partir de ellas y evaluar su desempeño bajo diversas cargas estáticas y dinámicas. Para ello, se realizaron ensayos de vibraciones ambientales dinámicas de la estructura del puente provocadas por el flujo vehicular y el viento.

El presente documento se centrará en la implementación de un sistema electrónico de medición. Con ello, se analizará un sistema mecánico con un sensor. El presente módulo de medición, permitirá analizar las vibraciones e interpretar los resultados. Los datos acelerométricos obtenidos en los 7 días de estudio permiten calcular las medidas vibratorias y la deformación del puente, cada tarjeta (Arduino Mega 2560 y Arduino Uno) se ubica en un punto específico y con un tiempo determinado para lograr mayor precisión y la misma cantidad de datos en cada tarjeta SD insertada en el circuito. Los datos guardados en el día de estudio se pasan a guardar dejando en blanco la memoria para el siguiente día de estudio.

Una vez finalizada la investigación se tomará 2500 datos diarios de cada tarjeta y se pasará a trabajar en Matlab obteniendo los resultados buscados.

1.1 Objetivos

1.1.1 General.

Determinar las frecuencias determinantes de las vibraciones en el Puente Reque.

1.1.2 Específicos.

Determinar el espectro y frecuencia de las vibraciones del puente Reque.

Obtener las frecuencias determinantes de las vibraciones del puente de Reque.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones, Puente Cunyac

Para el desarrollo de este estudio se realizó un análisis modal, seguido de mediciones de vibraciones ambientales con un acelerómetro de baja frecuencia, se obtuvieron las aceleraciones con el paso de vehículos y sin el paso de vehículos ni peatones, los datos fueron procesados por la TFT, para conseguir las frecuencias se realizó un análisis de sensibilidad de vibración del puente, hasta obtener analogías de las frecuencias de vibración; después del procedimiento se obtuvo una tabla de elementos finitos cuyo comportamiento modal, frecuencias y periodos asociados se aproximan a las medidas que están dentro del reglamento de resistencia de puentes, cuyos márgenes de diferencia son inferiores al 0.85 %. (Luis, 2019)

1.2.2 Evaluación estructural de puentes por medio de vibraciones aplicada a modelos a escala.

El objetivo de este proyecto es crear una metodología para evaluar el comportamiento de puentes usando la respuesta dinámica. En esa metodología, los parámetros modales se obtuvieron utilizando técnicas de identificación modal funcional, en condiciones controladas en diferentes escenarios de daño y variando la ubicación de los puntos de medición en la escala del puente.

Los resultados de las pruebas dinámicas efectuadas en los diferentes escenarios de daño se compararon entre sí para estimar la evolución del daño y la afectación que causa la modificación de los puntos de medición. De dicha comparación se determinó si la estructura se encuentra dañada. Entre los resultados más significativos determinados en este estudio podemos mencionar que el método de detección de daño nivel I tuvo un alcance limitado al detectar el daño sólo en las dos primeras formas modales. Además de los resultados del cambio de distribución obtenidos a partir de un mismo escenario de daño cambiando la distribución de los puntos de medición mostraron una modificación significativa de los comportamientos modales y por lo tanto en el proceso de detección de daño (Antoño, 2015)

1.2.3 Mediciones y análisis de vibraciones en el puente Virilla, ruta nacional N° 1

En este trabajo se determinan algunas características dinámicas del Puente del Río Virilla mediante ensayos de vibración para determinar el estado de la estructura.

Con el ensayo de vibraciones desarrollado se pueden medir las magnitudes de aceleración tanto en dirección vertical, lateral y longitudinal, se pueden determinar las frecuencias características de la estructura, así como la deformación (esfuerzo dinámico) que se presenta en algunos elementos de la estructura. Los resultados obtenidos en el ensayo experimental se comparan con el modelo analítico del puente para asegurar que su comportamiento cumple con las condiciones de diseño y la normativa requerida. (Navarro & Ureña, 2015)

2. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 Ubicación geográfica

En el Km 772 de la carretera Panamericana Norte, Región Lambayeque, provincia Chiclayo, distrito Reque

Figura 1.

Mapa de localización del Puente Reque.



Nota: *Fuente:* Google maps

2.2 Diseño experimental

Es un método estadístico que se puede utilizar para identificar y cuantificar las causas de un efecto en un estudio. En un diseño experimental, una o más variables causales se manipulan intencionalmente para medir su efecto sobre otra variable de interés. Cabe señalar que estos métodos son cuantitativos. Esto significa que las matemáticas se utilizan para medir los cambios observados en la variable dependiente. En un estudio o modelo estadístico, la variable dependiente es la variable que es explicada por otras variables (es

decir, las variables independientes). Lo que se hace en el diseño experimental tiene una base teórica a partir de la cual se intentan sacar conclusiones. (Creswell, 2008)

Un diseño experimental se considera el método más preciso y consiste en utilizar métodos matemáticos y análisis estadísticos para probar o refutar hipótesis. Para la ciencia, que se ocupa principalmente de datos numéricos, es mucho más fácil manipular variables, y los verdaderos diseños experimentales a menudo brindan una breve respuesta de sí o no. (Shuttleworth, 2008)

2.2.1 Variables de investigación.

2.2.1.1 Variable independiente.

Una posición en el espacio (m) forma un vector que le permite determinar su posición en un sistema de referencia de coordenadas.

El tiempo (s) es una magnitud física que mide la duración o intervalo de eventos.

2.2.1.2 Variable dependiente.

Frecuencia (Hz), es el número de ciclos en la unidad de tiempo, y siempre es positiva.

Aceleración (m/s^2), es la magnitud física que mide la tasa de variación de la velocidad respecto del tiempo

2.3 Técnicas de medición

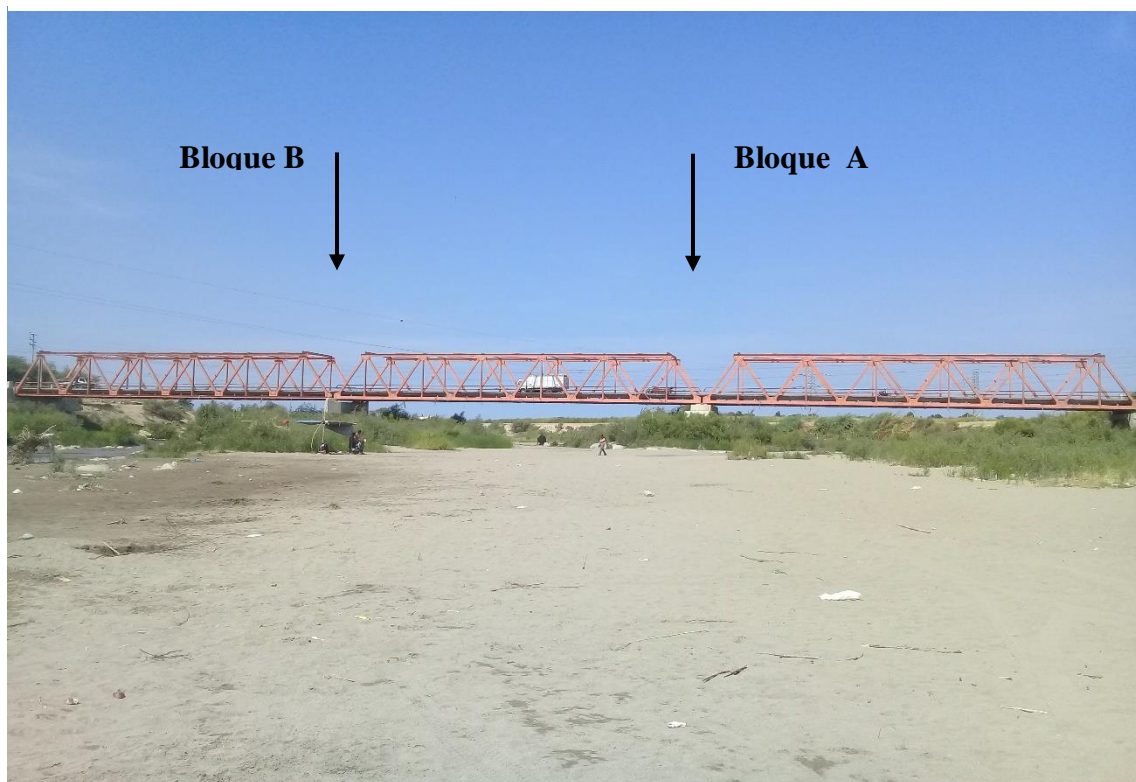
En la investigación desarrollada, usamos métodos novedosos como software especializado en la toma de datos y el análisis de los resultados, dando una nueva interfaz de control y adquisición de datos. Utilice una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de software libre que contiene un microcontrolador programable y un conjunto de pines hembra. Permiten de una forma muy sencilla establecer una conexión entre un microcontrolador y varios sensores y actuadores.

Arduino es gratuito y extensible: por lo que cualquier persona que quiera ampliar y mejorar el diseño de hardware de la placa, así como el entorno de desarrollo, puede hacerlo sin ningún problema. Proporciona un rico ecosistema de pizarras no oficiales para varios propósitos y bibliotecas de software de terceros que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades. (Arduino, 2010)

El puente reque Fig. 1 lugar de investigación identificamos Bloque A y Bloque B, donde se colocará el circuito ensamblado que capta y almacena datos en una memoria SD producidos por las vibraciones naturales y producidas por el paso de vehículos. Posteriormente serán guardada en un portátil para su respectivo análisis de datos.

Figura 2.

Puente Reque.

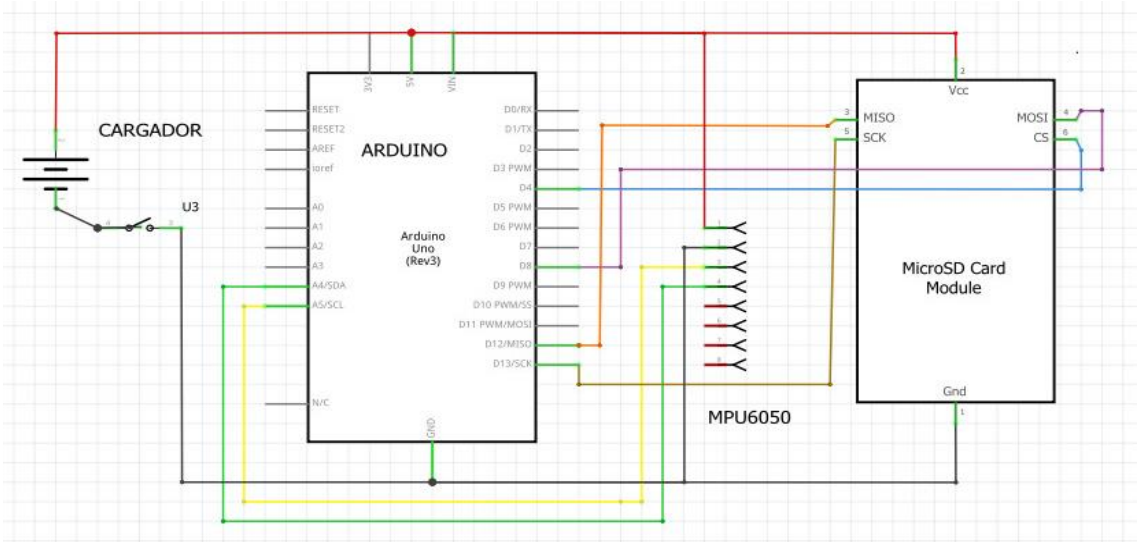


Nota: Fuente: Elaboración propia

Se muestra el diagrama de las conexiones del MPU6050 y el módulo SD realizadas en cada pin, según se muestra en la tabla.

Figura 3.

Esquema de conexión del equipo 1.

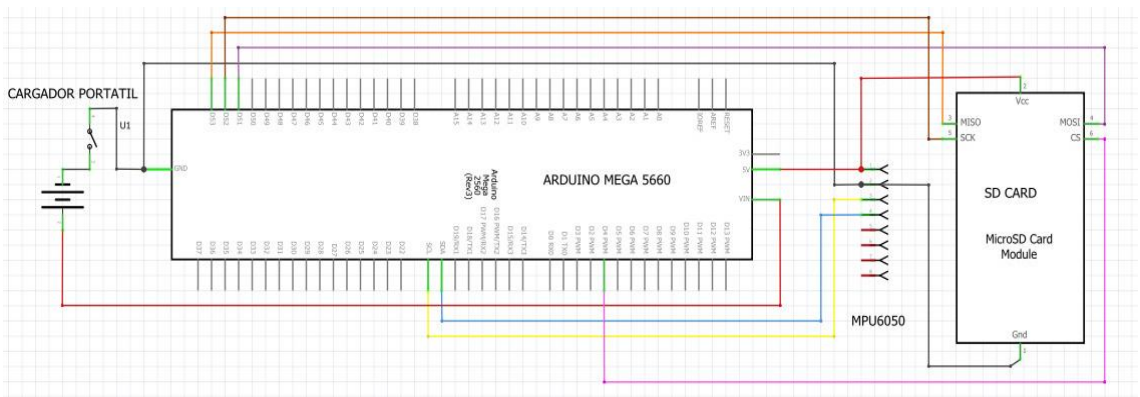


Nota: Fuente: Elaboración propia

Se muestra el diagrama del MPU6050 y módulo SD las conexiones realizadas en cada pin, según se muestra en la tabla.

Figura 4.

Esquema de conexión del equipo 2.



Nota: Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Licencia.

El código de la biblioteca de dispositivos I2Cdev se coloca bajo la licencia MIT Derechos de autor (c) 2011 Jeff Rowberg

A cualquier persona que reciba una copia de este software y los archivos de documentación relacionados ("Software") se le otorgan derechos ilimitados para manejar el software, incluidos, entre otros, el derecho a usar, copiar, modificar y combina, publicar, distribuir, sublicenciar y/o vender copias del Software. (Rowberg J. , 2011)

2.3.2 Calibración del MPU6050.

Para que la medida sea completamente precisa, se debe realizar una calibración para ajustar el valor de compensación. Para ello tenemos este croquis que nos da el valor de desplazamiento del sensor. Se debe realizar para cada MPU6050 ya que puede haber diferencias significativas entre cada MPU6050. Es necesario porque el sensor MPU6050 puede no estar 100 % horizontal, ya que el sensor puede no estar nivelado cuando se suelda al módulo, lo que agrega error a cada ensamblaje. Además, a la hora de instalar un módulo en un proyecto, éste puede quedar desnivelado, aunque a primera vista notemos que está correctamente alineado. (Rowberg J. , 2018)

Los ajustes y resultados del micro controlador MPU6050 está en el anexo 1 y anexo 2 de la presente investigación. El programa esta modificado para eliminar el error con la medida real que deseamos.

$$ax = 0, ay = 0, az = 1g \text{ y } gx = 0, gy = 0, gz = 0.$$

Observamos el desplazamiento actual y esperamos que el usuario envíe un carácter desde el puerto serie. Antes de enviar caracteres, se debe colocar el sensor en posición horizontal y evitar moverlo durante la calibración, esta posición será el nivel de nuestras futuras mediciones. Las lecturas filtradas convergerán a: (sabas1080, ElectronicCats, 2019)

$$\text{Aceleración: } p_{ax} = 0, p_{ay} = 0, p_{az} = +16384$$

$$\text{Velocidad angular: } p_{gx} = 0, p_{gy} = 0, p_{gz} = 0$$

Necesitamos detener o reiniciar nuestro Arduino cuando se observe un valor cercano al valor anterior en el monitor serie. Esto configurará el MPU6050 para su uso.

En el Anexo 3 se muestra el circuito ensamblado y colocado en el bloque A y B del puente Reque Fig. 1. Una vez ubicado los ejes (x,y,z) se encuentra listo para captar y almacenar datos en la memoria SD.

Los circuitos colocados en su bloque respectivo, comienzan a captar y almacenar datos en la memoria SD en un tiempo determinado. Los datos captados se guardan en un formato (txt). Ver Fig. 5

Figura 5.

Datos almacenados en la SD.

Inicio de toma de datos								
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=163	a[x y z]	g[x y z]:	1016	-556	15656	-204	-1	-203
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=293	a[x y z]	g[x y z]:	1196	-608	15776	-226	10	-205
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=419	a[x y z]	g[x y z]:	988	-496	15620	-210	24	-198
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=545	a[x y z]	g[x y z]:	1012	-592	15732	-227	31	-222
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=671	a[x y z]	g[x y z]:	956	-428	15764	-216	24	-216
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=796	a[x y z]	g[x y z]:	1032	-456	15780	-228	14	-204
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=922	a[x y z]	g[x y z]:	1044	-440	15616	-223	15	-211
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1080	a[x y z]	g[x y z]:	960	-396	15712	-220	33	-226
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1206	a[x y z]	g[x y z]:	1028	-500	15692	-241	26	-198
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1332	a[x y z]	g[x y z]:	1080	-440	15468	-234	20	-186
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1458	a[x y z]	g[x y z]:	992	-484	15832	-215	26	-237
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1583	a[x y z]	g[x y z]:	1092	-524	15776	-231	19	-215
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1720	a[x y z]	g[x y z]:	1148	-624	15680	-216	27	-229
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1847	a[x y z]	g[x y z]:	912	-424	15660	-212	28	-194
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=1973	a[x y z]	g[x y z]:	1156	-468	15572	-211	-2	-224
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2099	a[x y z]	g[x y z]:	-6024	-11240	19356	-402	126	367
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2225	a[x y z]	g[x y z]:	11728	-2188	14908	-173	-175	-711
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2355	a[x y z]	g[x y z]:	-172	-348	14712	-249	102	-211
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2482	a[x y z]	g[x y z]:	300	-1324	14440	-272	29	-216
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2608	a[x y z]	g[x y z]:	4184	-6672	14432	-186	-113	-338
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2734	a[x y z]	g[x y z]:	-3864	9092	16988	-5	-216	-317
Escribiendo datos tomados SD: Tiempo(ms)=2860	a[x y z]	g[x y z]:	2688	-3172	15120	-314	-95	-365

Nota: Fuente: Elaboración propia

2.4 Equipos y Materiales

Detallamos la función de cada equipo y material utilizado en la presente investigación con el fin de dar a conocer la calidad, forma de uso y ensamblado del circuito para la toma de datos.

2.4.1 Arduino Uno R3.

La UR3 es una placa de desarrollo que utiliza el microcontrolador AT-Mega328P, es utilizada para trabajar en distintos proyectos electrónicos. UR3 posee:

- 14 accesos y salidas digitales
- 06 accesos analógicas
- 01 resonador cerámico
- 01 conexión USB
- 01 conector ICSP
- 01 botón de reinicio.

(Arduino uno, 2020)

2.4.2 Arduino Mega 2560 R3

MR3 2560 es una placa de desarrollo más potente que la UR3 y se utiliza para aplicaciones con mayores requisitos de recursos. Posee:

- Memoria e interfaces.
- 54 accesos y salidas digitales
- 16 accesos analógicos
- 04 accesos seriales por hardware
- 01 resonador cerámico
- 01 conexión USB
- 01 conector ICSP
- 01 botón de reinicio.

(Arduino Mega, 2020)

2.4.3 Módulo MPU6050.

Basado en el sensor MPU6050, el módulo contiene todo lo necesario para la medición de movimiento de 6° libres y es capaz de realizar complejos algoritmos de captura de movimiento de 9 ejes. Posee:

- 01 interfaz I2C
- 03 ejes de giroscopio
- 03 ejes acelerómetro
- 01 regulador de tensión

(sabas1080, Módulo MPU6050, 2019)

2.4.3.1 Conexión de placa Arduino y MPU6050.

En la tabla 2.1 se muestra las conexiones entre el módulo MPU6050 y el Arduino Uno, así mismo con el Arduino Mega. Se trabaja según corresponda. La conexión de muestra en la imagen del anexo 4 y 5

Tabla 1.

Conexiones entre Placa Arduino y MPU6050.

MPU6050	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA
VCC	5V	5V
GND	GND	GND
SCL	A5	21
SDA	A4	20

Nota: Fuente: Naylamp Mechatronics

2.4.4 Módulo lector de memoria SD card (2 unidades)

La placa de interfaz está estructurada para el acceso SPI a la memoria micro SD, por lo que las señales de control están claramente etiquetadas con los nombres de las señales en el bus de comunicación. (Greiman, 2020)

2.4.4.1 Conexión de Arduino y Módulo SD.

La tabla 2.2 se muestra las conexiones entre el módulo SD y el Arduino Uno, así mismo con el Arduino Mega.

Tabla 2.

Conexión entre placa Arduino y Módulo SD.

MOD. SD	AR3	MR3 2560
Neutro	Neutro	Neutro
3.3 V	Libre	Libre
5 V	5 V	Pin 5
CS	Pin 4	Pin 4
MOSI	Pin 11	Pin 51
SCK	Pin 13	Pin 52
MISO	Pin 12	Pin 50
Neutro	Neutro	Neutro

Nota: Fuente: Naylamp Mechatronic

Imagen de las conexiones en el anexo 6 y anexo 7.

2.4.5 Memorias micro SD card (2 unidades).

La memoria Micro SD es parte de la última generación que mejora el rendimiento y la capacidad de cargar aplicaciones, archivos, fotos, videos, juegos y más. (Technology, 2020)

2.4.6 Protoboard 830 (2 unidades).

Un Protoboard ayuda a probar circuitos sin hacer prototipos de PCB, posee:

- 04 conexiones de energía
- 830 puntos de conexión

(Mechatronics, 2020)

2.4.7 Cargador Power bank 10000 MAH (2 unidades).

Le permite cargar varios dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles y tabletas, etc. a través del puerto USB (Belkin, 2020)

2.4.8 Laptop Lenovo Ideapad 110.

Lenovo Ideapad 110 es un portátil de 15,6" robusto, asequible y fiable, perfecto para realizar tareas ofimáticas, navegar por Internet. Sencillo, pero con la confianza de una gran marca, incorpora procesador Intel® Celeron. (Lenovo Ideapad, 2018)

3 RESULTADOS

Las mediciones de vibración y esfuerzo dinámico que se generaron experimentalmente se llevaron a cabo en el mes de marzo del 2020, permitiendo el paso vehicular normal sobre el puente Reque en los dos sentidos. Se establecieron dos puntos de medición en el puente, correspondientes en el bloque A y B, como se puede corroborar en la figura 2.

Los datos obtenidos en la investigación han sido ordenados y seleccionados, omitiendo las lecturas del magnetómetro que no se usará en el proyecto. En los siguientes resultados se muestra sólo algunos de los 2500 datos guardados en la tarjeta de memoria que se estarán usando para el proceso de graficas con un programa desarrollados en la plataforma de Matlab. (Navarro & Ureña, 2015)

Los datos de vibración tomados fueron para cada nodo en la dirección longitudinal, horizontal y vertical correspondiente a las coordenadas del modelo estructural (x, y, z). En los datos recopilados, el tiempo de toma de muestras fue de 15 minutos, capturando por segundo 100 datos en cada uno de los sensores. De los 3 ejes (x, y, z) se tendrá una gráfica por cada eje.

El proceso de los datos obtenidos se guarda en un bloc de notas con un determinado nombre (DATA_AM_01_03_2020.m) el nombre varía de acuerdo a la fecha del proceso de investigación, el programa de Matlab realizado compila el código y grafica respecto a cada eje (x, y, z) con el tiempo respectivo t. El programa utilizado para compilar los datos se encuentra en el Anexo 8

3.1 Procesamiento de datos en el bloque A y bloque B del día 01/03/2020

Utilizando el código de Matlab se obtiene las gráficas en el bloque A y B del Puente Reque, de los cuales se analiza 2500 datos. Se aplicó la transformada rápida de Fourier (FFT) a los datos de aceleración para identificar los modos predominantes y los espectros de magnitud de frecuencia. (Rodríguez, Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá, 2017)

3.2 Transformada rápida de Fourier

El método utilizado es el análisis de Fourier, que es una de las herramientas matemáticas más importantes para modelar el comportamiento de los sistemas dinámicos. Aplicando la transformada de Fourier podemos encontrar las frecuencias características de la vibración en el Puente Reque. La transformada rápida de Fourier es una herramienta en el procesamiento digital de señales, conocida por sus abreviaturas (FFT) es un algoritmo que aminorar el tiempo de cálculo de n^2 pasos a $n \cdot \log_2(n)$. El único requisito es que el número de puntos en este caso datos en la secuencia tiene que ser una potencia de 2 (2^n puntos). (Dombald, 2011)

Con la ayuda del análisis se obtienen las frecuencias vibratorias del puente. Para la mayoría de estudios realizados en puentes se puede determinar claramente un pico máximo que ocurre en frecuencias bajas (sin llegar a cero), el cual se supone como el primer modo de vibración del puente. Por ejemplo, en la figura 6 se visualiza el contenido de frecuencias del puente Reque, para el cual se obtuvo un primer modo de vibración de 8.57 Hz. (Rodríguez, Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá, 2017)

3.3 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) del bloque A y del bloque B del día 1/3/2020

Para cada punto de medición en el Puente Reque se obtuvo su conveniente nodo en el modelo. En los siguientes resultados son datos del bloque A y B del puente. La transformada de Fourier en el bloque A y B se presenta en la figura 14 y 15 se observan dos de las tres gráficas tomadas como muestra de los ejes (x, y, z) los picos que corresponde a los modos torsional y longitudinal respectivamente. Lo cual indica que la frecuencia más baja indica al modo torsional y la frecuencia más alta al modo longitudinal.

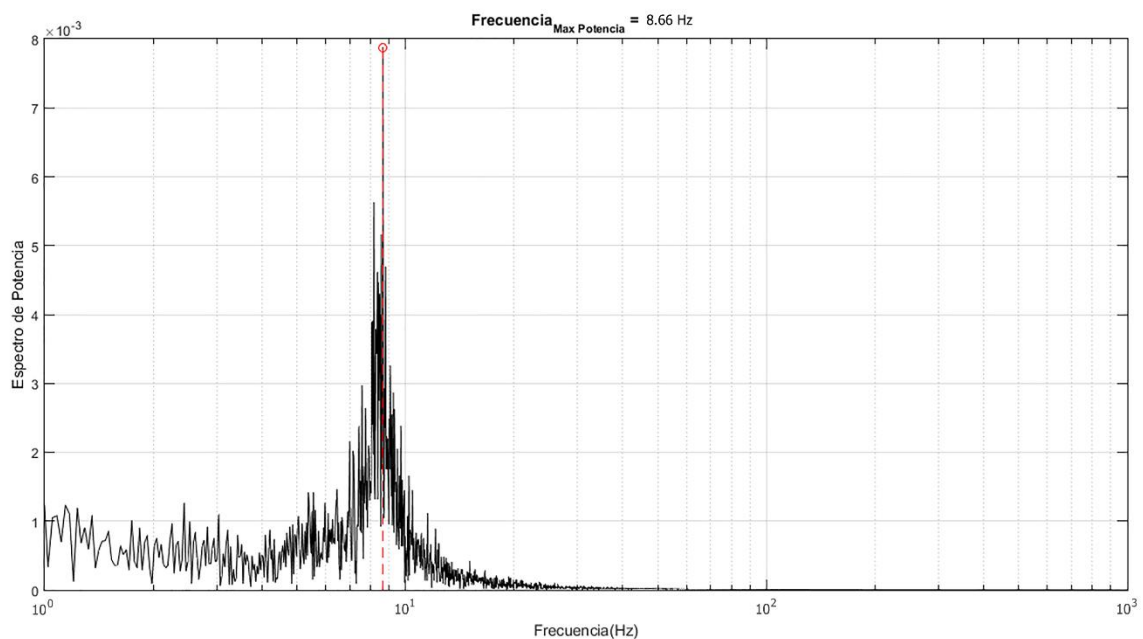
3.3.1 Gráfica Frecuencia en función al espectro de frecuencia del bloque B.

La transformada de Fourier de la función $x(t)$ como se muestra en la Fig. 6, se destaca el máximo valor de amplitud que se ubica sobre la frecuencia de 8.66 [Hz] (pico máximo), la cual representa al modo fundamental del puente Reque.

Se hace un análisis de coherencia entre señales de puntos móviles y puntos de referencia para corroborar si las frecuencias de los picos alcanzados identificados del espectro medio normalizado representan a los modos naturales de vibración de la estructura. Las funciones de coherencia básicamente cuantifican la coherencia entre dos auto espectros ubicándola en un valor de cero a uno, donde uno es la máxima coherencia entre auto espectros. (Jaimes, 2017)

Figura 6.

Grafica Frecuencia en función al espectro de potencia del bloque B.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

La resonancia detalla el problema de incremento de amplitud que sucede cuando hay una fuerza periódicamente aplicada y cuya frecuencia es igual o cercana a una frecuencia natural del sistema sobre la que se ejerce. Cuando una fuerza oscilatoria se ejerce en una frecuencia resonante de un sistema dinámico, el sistema oscila en una amplitud más alta

que cuando la misma fuerza se aplica en otra frecuencia no resonante. (José Antonio Peralta, 2009)

3.4 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) del bloque B del día 4/3/2020

En cada uno de los puntos de obtención de medidas en el Puente Reque se determinó su respectivo nodo en el modelo. Luego, para cada uno de los nodos, se encontró el desplazamiento máximo modal. El resultado obtenido, son datos del bloque B del puente. La transformada de Fourier en el bloque B se presenta en la figura 7, 8, 9 se observa una tres graficas tomadas como muestra de los ejes (x, y, z) los picos que corresponde a los modos torsional y longitudinal respectivamente. Lo cual indica que la frecuencia más baja indica al modo torsional y la frecuencia más alta al modo longitudinal.

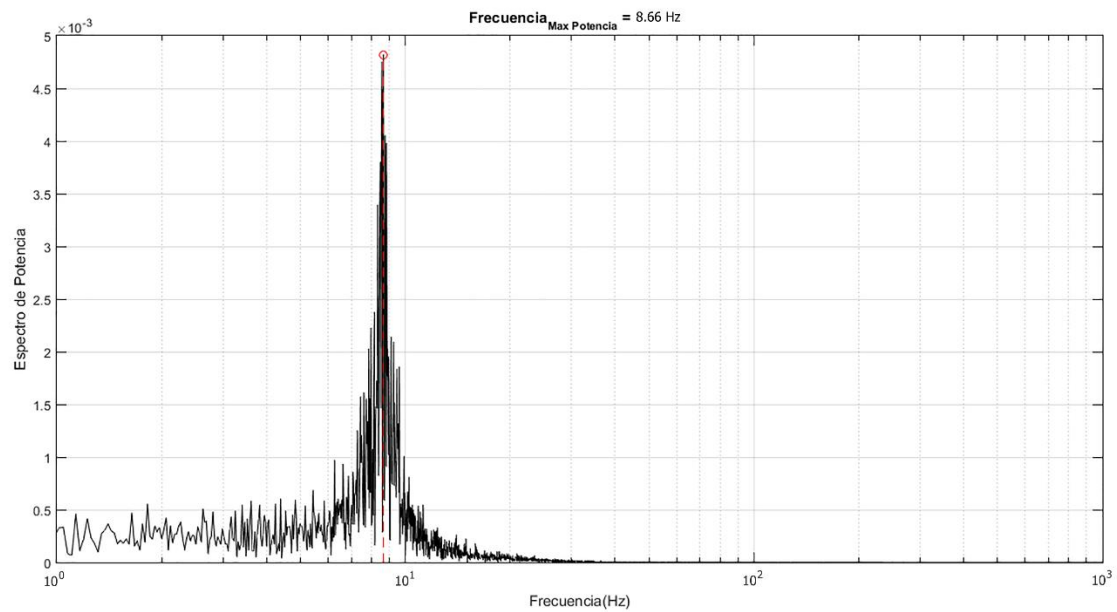
3.4.1 Gráficas de frecuencia en función al espectro de potencia del bloque B

La figura (7, 8,9) se muestran las funciones de densidad espectral normalizadas para todos los grados de libertad medidos del cuarto día del bloque B. La FFT se aplicó a una zona establecida en la cual se obtiene un registro de datos acelero-métricos de vibraciones amortiguadas. Mediante el análisis se obtuvo el rango de frecuencias vibratorias producidas el puente en los ejes (x, y, z).

En los estudios realizados a puentes tomados como referencia para este trabajo se puede observar un pico máximo que ocurre en frecuencias bajas (distintas a cero), el cual se toma como el primer modo de vibración del puente. En la Tabla 3 se muestra el contenido de frecuencias del Puente Reque.

Figura 7.

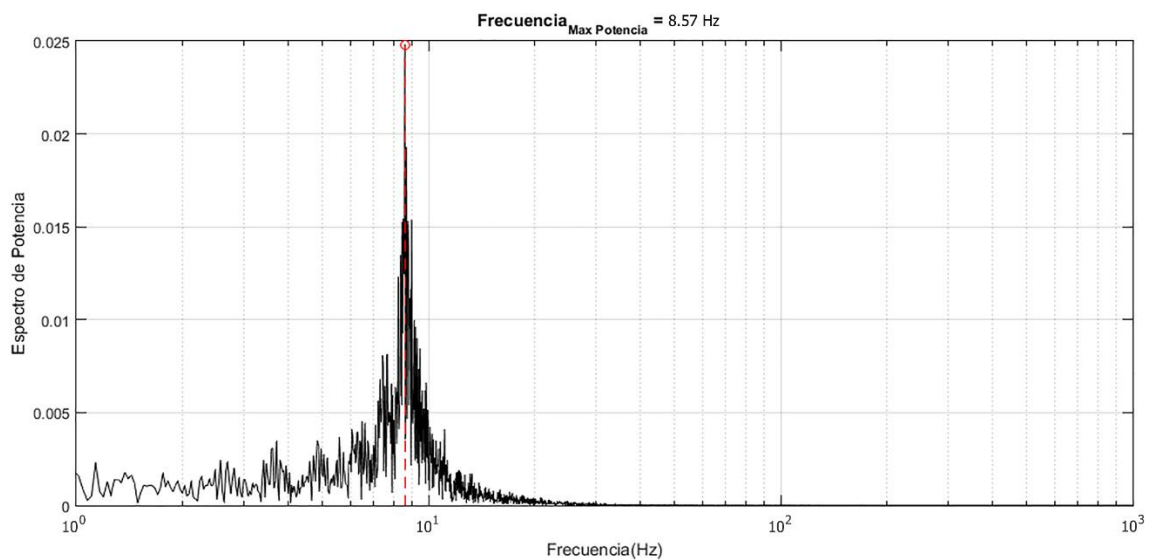
Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje x en el bloque B



Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 8.

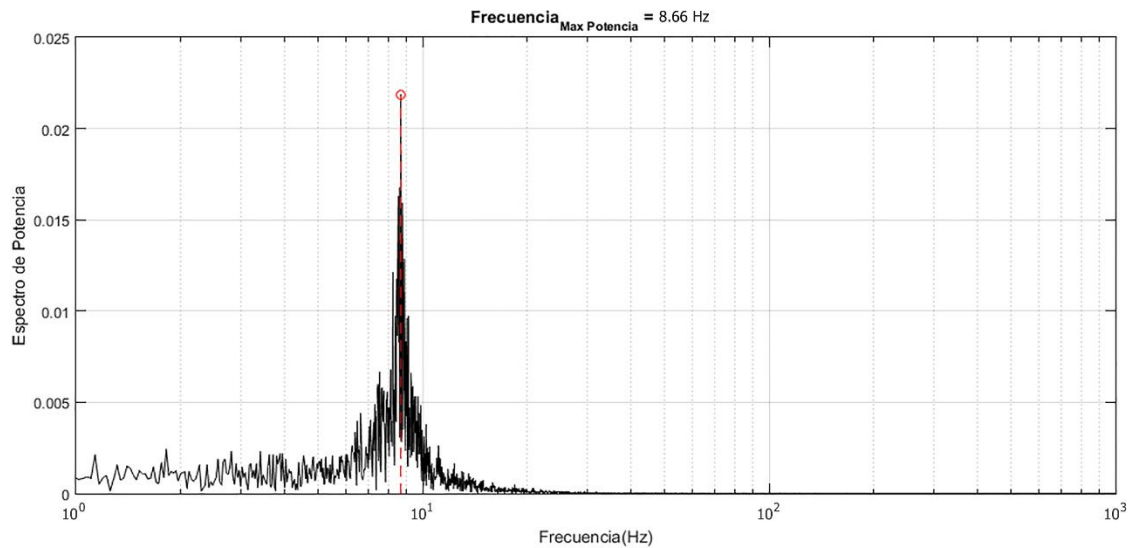
Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje y en el bloque B.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 9.

Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje z en el bloque B.



Nota: Fuente: Elaboración propia

3.5 Procesamiento de datos mediante TTF (Transformada rápida de Fourier) en el bloque A del día 4/3/2020

En cada uno de los puntos de obtención de medidas en el Puente Reque se determinó su respectivo nodo en el modelo. Luego, para cada uno de los nodos, se encontró el desplazamiento máximo modal. El resultado obtenido, son datos del bloque A del puente. La transformada de Fourier en el bloque A se presenta en las figuras 10, 11, 12 se observa tres graficas tomadas como muestra de los ejes (x, y, z) los picos que corresponde a los modos torsional y longitudinal respectivamente. Lo cual indica que la frecuencia más baja indica al modo torsional y la frecuencia más alta al modo longitudinal.

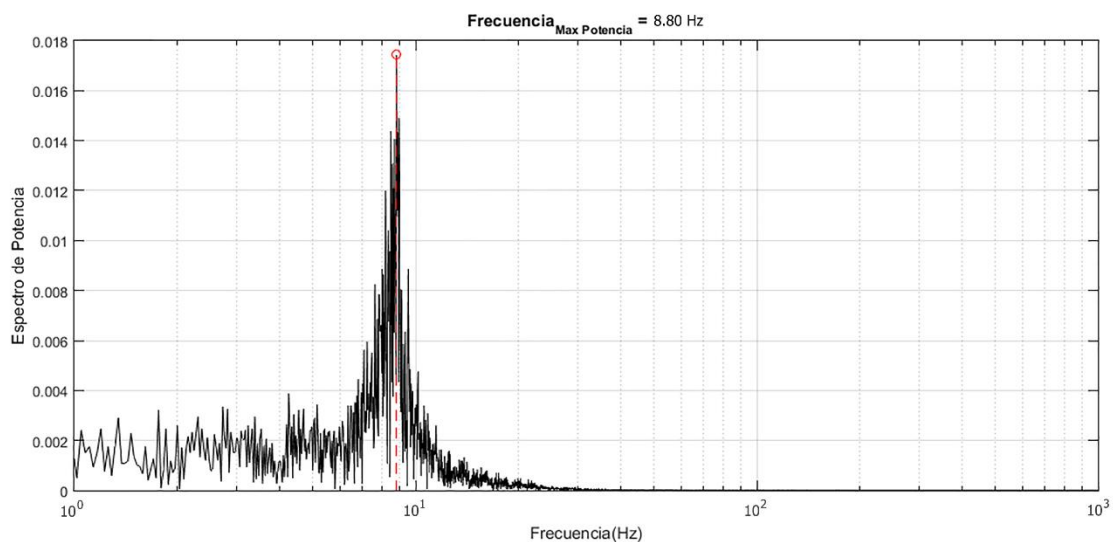
3.5.1 Gráfica frecuencia en función al espectro de potencia del bloque A

Para los grados de libertad obtenidos en el cuarto día del bloque A con la tarjeta Arduino uno se identifican las funciones de densidad espectral normalizadas en la figura (10, 11, 12). La FFT se aplicó a una zona establecida en la cual se obtiene un registro de datos acelerométricos de vibraciones amortiguadas. Mediante el análisis se obtuvo el rango de frecuencias vibratorias producidas el puente en los ejes (x, y, z).

En los estudios realizados a puentes tomados como referencia para este trabajo se puede observar un pico máximo que ocurre en frecuencias bajas (distintas a cero), el cual se toma como el primer modo de vibración del puente. En la Tabla 3 se muestra el contenido de frecuencias del Puente Reque.

Figura 10.

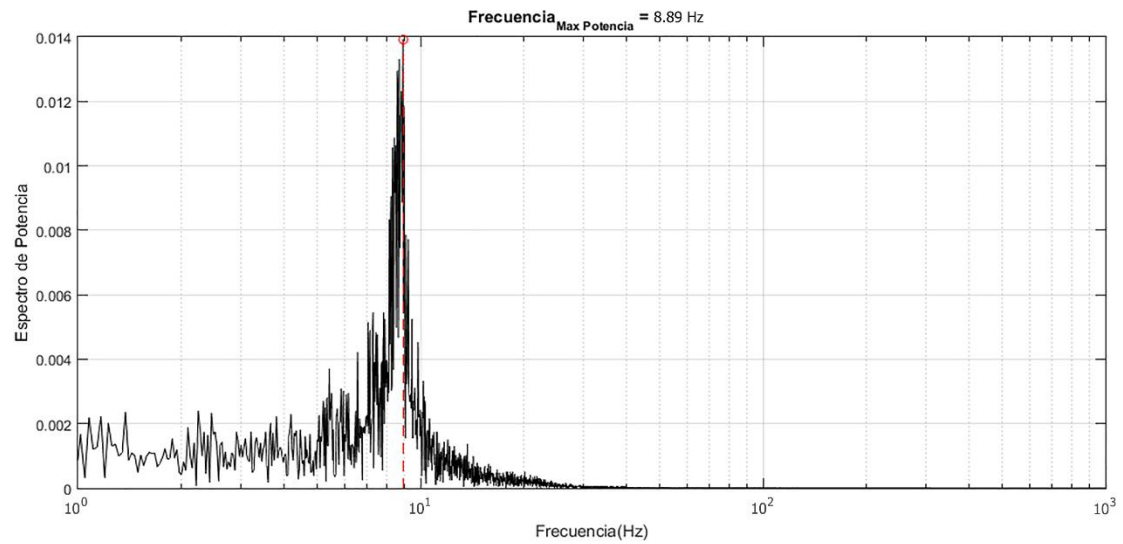
Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje x en el bloque



Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 11

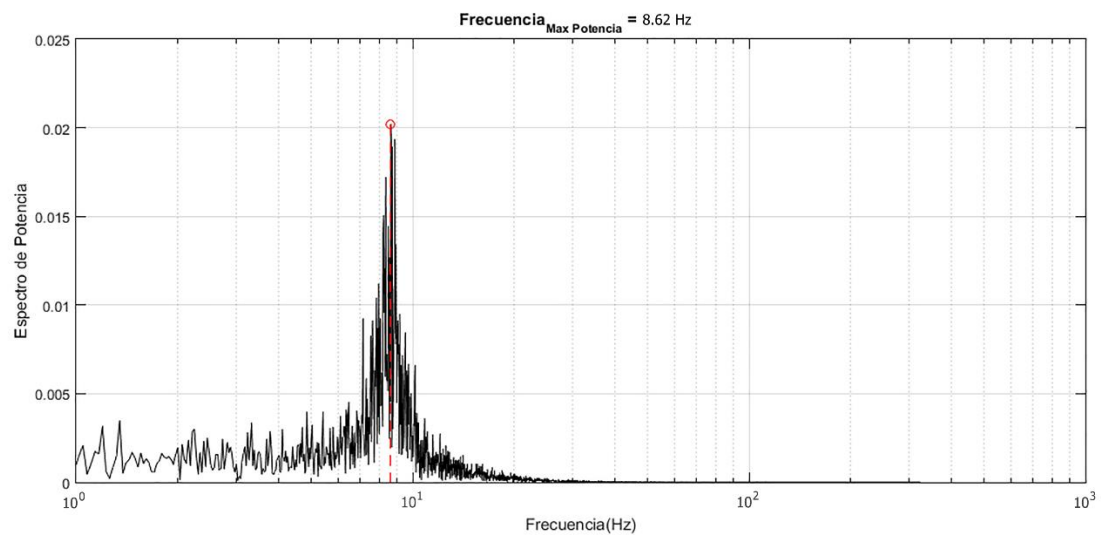
Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje y en el bloque A.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Gráfica de frecuencia en función al espectro de potencia del eje z en el bloque A.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Frecuencia y periodos en los bloques A y B del puente Reque

NODO	FECHA	FRECUENCIA (HZ)		
		X	Y	Z
A	1/03/2020	8.57	8.63	8.66
	2/03/2020	8.66	8.55	8.75
	3/03/2020	8.47	8.59	8.71
	4/03/2020	8.8	8.89	8.62
	5/03/2020	8.47	8.27	8.44
	6/03/2020	5.51	8.6	8.54
	7/03/2020	8.67	8.6	8.7
B	1/03/2020	8.66	8.78	8.9
	2/03/2020	8.55	8.89	8.5
	3/03/2020	8.44	8.47	8.47
	4/03/2020	8.66	8.57	8.66
	5/03/2020	8.73	8.76	8.91
	6/03/2020	8.56	8.62	8.77
	7/03/2020	8.84	8.34	8.52

Nota: Fuente: Elaboración propia

La frecuencia correspondiente al periodo fundamental (flexión pura) resultó en el (eje x) es de 8,39 [Hz], en el (eje y) es de 8,61 [Hz] y en el (eje z) es 8,65 [Hz] (Tabla 3).

4 DISCUSIÓN

Se realizaron mediciones experimentales de vibraciones para cada nodo en las direcciones longitudinal, transversal y vertical, correspondientes a las coordenadas (x, y, z) del modelo estructural, respectivamente.

Para toma de medidas de vibración, dado que se tienen los valores acelero-métricos en función del tiempo, no fue necesario aplicar filtros con el fin de evitar vibraciones causados por el ruido, se procedió a realizar la FFT (transformada rápida de Fourier) con el fin de determinar las frecuencias predominantes, cuyos valores en los ejes x; y; z fueron de 8.39 Hz; 8.61 Hz y 8.65 Hz respectivamente

El puente Reque lugar de investigación, no cuenta con estudios anteriores publicados para hacer una comparativa de datos pero hacemos una comparativa de estudio de frecuencias con otros puentes que tienen características similares al puente en cuestión, en el artículo (Rodríguez, Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá, 2017) en la página 86 tabla N°1 hacen una serie de análisis de frecuencias de diferentes puentes, la información muestra que mientras más largo es el puente las frecuencias son cada vez más pequeñas, así buscando un puente con características similares nos encontramos con el puente Río Chico con una longitud de 80 m y una frecuencia 1.66 Hz, en comparación con el nuestro que es un puente de aproximadamente 152 m y unas frecuencias promedio que bordea los 8.6 Hz, vemos que hay una clara diferencia en estas cantidades, la aclaración que haríamos es que el estudio del Río Chico se hizo inmediatamente después de su construcción, en ese momento era un puente nuevo, para el caso del Río Reque el estudio se hizo en pleno uso en el año 2020, con una antigüedad de 11 años si tomamos como referencia su reestructuración y ampliación en el año 2009, además si consideramos que este es un puente que se construyó para ser solo provisional, entonces podríamos comprender que aun siendo bajas las frecuencias de este puente, es alto en comparación con estructuras similares.

5. CONCLUSIONES

- a. A partir del movimiento fluido de automóviles en el puente Reque, se pudo obtener frecuencias naturales determinantes. Esto representa una ventaja al no ser necesario suspender este tráfico para realizar pruebas de impacto o de un excitador dinámico con frecuencia conocida para obtener la respuesta dinámica.
- b. En el puente Reque se obtuvo una concentración de energía en rangos de espectro de frecuencias que bordean los valores 5,51 Hz y 8,89 Hz.
- c. Los valores de las frecuencias determinantes promedio diarias obtenidas para cada eje x; y; z fueron de 8.39 Hz, 8.61 Hz y 8.65 Hz respectivamente. Las frecuencias alternas se consideran asociados a factores externos, como ruidos producidos por el viento o vibraciones propias de las corrientes de agua del Río Reque, etc.
- d. Para los bloques A y B, se obtiene que su comportamiento evaluado por separado es similar entre sí, ya que las frecuencias determinantes encontradas en las tres direcciones son cercanas.

6. RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda que exista un plan de estudio, de forma que se pueda analizar la evolución y posible deterioro de la estructura desde el punto de vista resistente y suministrar datos útiles para la toma de decisiones sobre su mantenimiento, reparación o refuerzo.
- b. Se recomienda realizar un estudio cada año y comparar su resonancia más próxima a su frecuencia natural, si la resonancia llega a ser la misma que su frecuencia natural ocasionaría el colapso del puente
- c. La evaluación de frecuencias de vibración de otros puentes en Perú debe continuar a los puentes ya estudiados en este proyecto para crear una base de datos para analizar posibles cambios estructurales a lo largo del tiempo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Aguilar, L. F. (2008). *Evaluación y diseño estructural*. Chiclayo.
- Antoño, C. S. (2015). *Evaluación estructural de puentes por medio de vibraciones aplicada a modelos a escala*. Veracruz.
- Arduino Mega, R. (2020). *Arduino cc*. Obtenido de Arduino cc: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- Arduino uno, R. (2020). *Arduino cc*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arduino, C. (2010). *ARDUINO*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Belkin. (2020). *Better with Belkin*. Obtenido de <https://www.belkin.com/es/resource-center/portable-charging/>
- Creswell. (2008). *Investigaciones cualitativas y cuantitativas*.
- Dombald, J. (2011). *Series de Fourier - Aplicación: Análisis de Señales*. Argentina.
- García, V. (2020). *Diario Electrónico*. Obtenido de <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/configurar-el-mpu6050>
- González, C. J. (2003). *Fundamentos del análisis de Fourier*. España.
- Greiman, W. (2020). *Arduino.cc*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/sd/>
- Jaimes, Á. V. (2017). *Determinación de la Capacidad Resistente de Puentes Viga-Losa*. Bucaramanga.
- José Antonio Peralta, P. R. (2009). *El fenómeno de la resonancia*. Mexico: Adolfo López Mateos.
- Lenovo Ideapad, 1. (2018). *Lenovo*. Obtenido de <https://www.lenovo.com/pe/es/laptops/ideapad/serie-100/Ideapad-110-15-AMD/p/88IP1000710>
- Luis, C. V. (2019). *Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones, Puente Cunyac*. Cuzco.
- Mechatronics, N. M. (2020). *Naylamp Mechatronics*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/protoboard/222-protoboard-830.html>
- Navarro, F., & Ureña, D. (2015). *Mediciones y análisis de vibraciones en el puente Virilla*. San José: Tecnología en Marcha.
- Rodríguez, S. G. (2017). Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá. *I+D Tecnológico*, 13(1), 83-90, 83-90.
- Rodríguez, S. G. (2017). Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá. *I+D Tecnológico*, 83-89.

Rowberg, J. (2011). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/jrowberg/i2cdevlib>

Rowberg, J. (2018). *GITHUB*. Obtenido de <https://github.com/jrowberg/i2cdevlib/tree/master/Arduino/MPU6050>

sabas1080. (febrero de 2019). *ElectronicCats*. Obtenido de <https://github.com/electroniccats/mpu6050>

sabas1080. (febrero de 2019). Módulo MPU6050. México. Obtenido de <https://github.com/electroniccats/mpu6050>

Santivañez, P. (2007). *Evaluación de reforzamiento puente Reque* .

Shuttleworth, M. (2008). *Diseño experimental verdader*.

Technology, K. (2020). Obtenido de https://media.kingston.com/pdfs/MKF_283.2_Flash_Memory_Guide_LATAM.pdf

8. ANEXOS

En los siguientes anexos se muestra 15 de los 2500 datos tomados como referencia en la investigación, y los resultados obtenidos trabajando en Matlab con su valor máximo y mínimo de oscilación del puente Reque. Se consideró cierta cantidad de tablas para mostrar cómo y de donde obtuvimos los valores para dar solución a nuestro problema de frecuencia.

8.1 Anexo 1

Calibración Arduino Uno

Esquema de calibración MPU6050

Su MPU6050 debe colocarse en posición horizontal, con las letras del paquete hacia arriba. No lo toque hasta que vea un mensaje de finalización.

Conexión de MPU6050 exitosa

Lectura de sensores por primera vez ...

Calculando compensaciones ...

...
...
...
...
...
...
...
...
...

¡TERMINADO!

Lecturas del sensor con compensaciones: -3 3 16393 1 0 -1

Sus compensaciones: -5277-1842 3438 50 -4 46

Los datos se imprimen como: accelX accelY accelZ giroX giroY giroZ

Compruebe que las lecturas de su sensor estén cerca de 0 0 16384 0 0 0

Si la calibración fue exitosa, anote sus compensaciones para que pueda configurarlas en sus proyectos usando algo similar a `mpu.setXAccelOffset(youroffset)`

8.2 Anexo 2

Calibración de Arduino Mega

Esquema de calibración MPU6050

Su MPU6050 debe colocarse en posición horizontal, con las letras del paquete hacia arriba. No lo toque hasta que vea un mensaje de finalización.

Conexión de MPU6050 exitosa

Lectura de sensores por primera vez ...

Calculando compensaciones ...

...
...
...
...
...
...
...

¡TERMINADO!

Lecturas del sensor con compensaciones: -2 4 16393 0 0 0

Sus compensaciones: -504-1195 2630 108 -8 32

Los datos se imprimen como: accelX accelY accelZ giroX giroY giroZ

Compruebe que las lecturas de su sensor estén cerca de 0 0 16384 0 0 0

Si la calibración fue exitosa, anote sus compensaciones para que pueda configurarlas en sus proyectos usando algo similar a `mpu.setXAccelOffset(youroffset)`

8.3 Anexo 3

Circuito ensamblado en el Bloque A y B



Bloque A

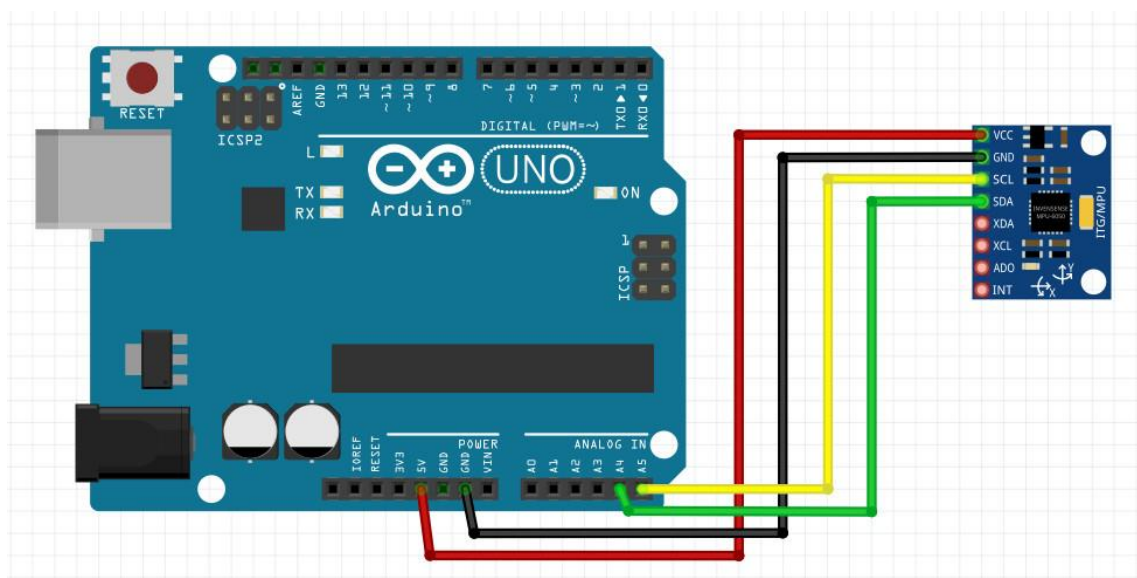


Bloque B

Nota: *Fuente:* Elaboración propia

8.4 Anexo 4

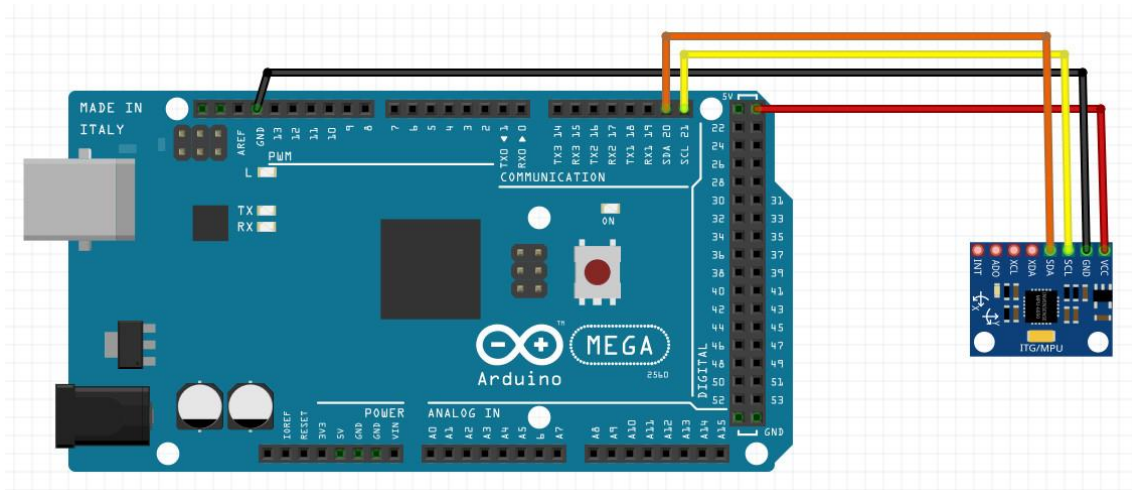
Conexión Arduino Uno y MPU6050



Nota: *Fuente:* Elaboración propia

8.5 Anexo 5

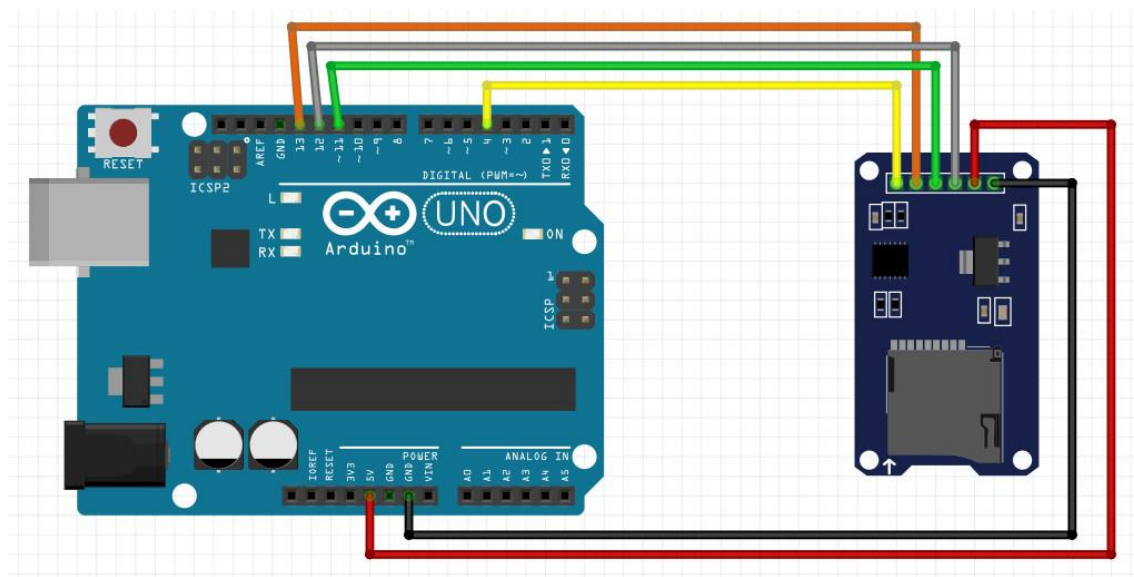
Conexión de Arduino Mega y MPU6050



Nota: Fuente: Elaboración propia

8.6 Anexo 6

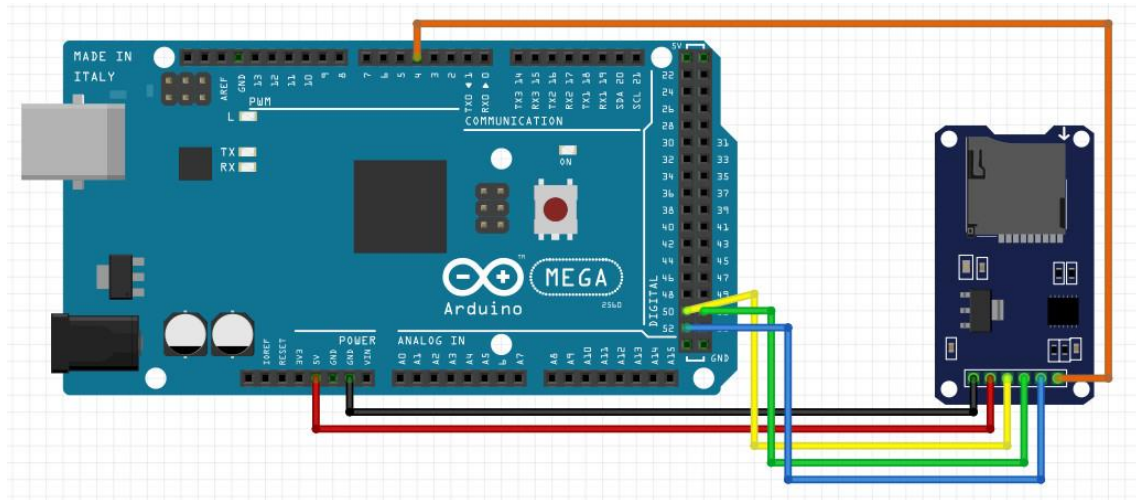
Conexión de Arduino Uno y Módulo SD



Nota: Fuente: Elaboración propia

8.7 Anexo 7

Conexión de Arduino Mega y módulo SD



Nota: Fuente: Elaboración propia

8.8 Anexo 8

Programa de Matlab para compilar los ejes (x,y,z)

```
load DATA_AM_01_03_2020.m ); % el nombre varia con respecto a la fecha de investigación
D1=DATA_AM_01_03_2020;
t=D1(:,1);
Ax=D1(:,2);
Ay=D1(:,3);
Az=D1(:,4);
[n,~]=size(Ax);%numero de datos
A=max(Ax);
for i=1:n
    if Ax(i)==A
        a=i;
    end
end
t(a)
A
plot(t,Ax)
plot(t,Ay)
plot(t,Az)
```

8.9 Anexo 9

Datos de Arduino Mega y Arduino Uno día 01/03/2020

En la tabla A y B del 01/03/2020. Se toma como referencia los datos obtenidos en el primer día del bloque B del puente Reque. Unidad de (A_x, A_y, A_z) en $\frac{mm}{ms^2}$

$t(ms)$	A_x	A_y	A_z
162	1532	40	14344
288	1260	632	16508
413	1380	-404	16552
539	2252	1028	17532
669	1652	-2380	19188
808	1580	-1748	14740
934	2272	-996	15848
1060	2260	-1472	15952
1185	1644	-5252	13688
1315	1140	2272	16256
1441	1620	-588	15836
1567	2272	-212	14444
1692	1604	244	17104
1818	1200	-1332	15764
1944	1160	-868	15276

$t(ms)$	A_x	A_y	A_z
164	-400	2212	16676
296	-1748	-1120	14712
430	5212	-4056	16440
562	972	-1432	15616
698	-2240	-76	16020
830	836	-368	15756
965	3356	-1160	15100
1098	580	-1180	16216
1230	980	-736	15464
1367	-96	220	15860
1499	1780	-1604	15696
1634	68	-320	16012
1767	-352	264	15704
1899	1556	-712	15768
2032	7096	-4000	16192

8.10 Anexo 10

Programa de la Transformada rápida de Fourier (FFT)

El siguiente algoritmo es utilizado para encontrar es espectro de potencia $P(w)$ con respecto a la frecuencia w .

```
clear all, close all, clc, warning off

fname = 'DATA_AM_04_03_2020.txt';

dat = load(fname);

T = dat(:,1);
SX = dat(:,2)*(9.81/16384)/100;
SY = dat(:,3)*(9.81/16384)/100;
SZ = dat(:,4)*(9.81/16384)/100;

%% Definición de variables
m = 1;           % ton s2/cm
E = 0.05;
c = 0.543000;    % ton s/cm
k = 29.4849;     % ton/cm
dt = 1/1000;     % seg
Wn = 5.43;
M = 1.007396;

%% Procesamiento de calculo

for j = 1:length(T)-1

if j==1
    Xpp = 0;
    Xp = 0;
    X = 0;
    Ti = 0;
    Tf = T(j);

    TT(1)=0;
else
    Ti = T(j-1);
    Tf = T(j);
end

clear dQ dQp dXpp dXp dX

for i = Ti+1:Tf
    dT = 1/1000;
    dQ(i,1) = -m*(SZ(j+1,1) - SZ(j,1));

    dQp(i,1) = dQ(i,1) - Xpp(i,1)*(c*dT + 0.5*k*(dT^2)) - Xp(i,1)*k*dT;
    dXpp(i,1) = dQp(i,1)/M;

    dXp(i,1) = Xpp(i,1)*dT + 0.5*dXpp(i,1)*dT;
```

```

dQ(i,1) = -m*(SZ(j+1,1) - SZ(j,1));

dQp(i,1) = dQ(i,1) - Xpp(i,1)*(c*dT + 0.5*k*(dT^2)) - Xp(i,1)*k*dT;
dXpp(i,1) = dQp(i,1)/M;

dXp(i,1) = Xpp(i,1)*dT + 0.5*dXpp(i,1)*dT;
dX(i,1) = Xp(i,1)*dT + 0.5*Xpp(i,1)*dT^2 + (1/6)*dXpp(i,1)*dT^2;

X(i+1,1) = X(i,1) + dX(i,1);
Xp(i+1,1) = Xp(i,1) + dXp(i,1);
Xpp(i+1,1) = Xpp(i,1) + dXpp(i,1);
TT(i+1,1) = i;
end
end

%%
figure
subplot(411)
plot(T/1000,SZ)
grid on, box on
xlabel('Tiempo (seg.)')
ylabel('Acelerometro (cm.s^{-2})')

subplot(412)
plot(TT/1000,X)
grid on, box on
xlabel('Tiempo (seg.)')
ylabel('Desplazamiento (cm)')

subplot(413)
plot(TT/1000,Xp)
grid on, box on
xlabel('Tiempo (seg.)')
ylabel('Velocidad (cm.s^{-1})')

subplot(414)
plot(TT/1000,Xpp)
grid on, box on
xlabel('Tiempo (seg.)')
ylabel('Aceleraci3n (cm.s^{-2})')

%%
Fs = 1/dT;
Yy = fft(X);
Yy(1:8,1) = nan;
% Yy(end-2000:1:end,1) = nan;
L = length(X);

P2 = abs(Yy/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

```

```

f = Fs*(0:(L/2))/L;

inx = find(P1==max(P1));

figure('position',[200 200 1200 500])
semilogx(f,P1,'k')
hold on
semilogx(f(inx),P1(inx),'ro')
hold on
stem(f(inx),P1(inx),'r--')
grid on, box on
xlabel('Frecuencia(Hz)')
ylabel('Espectro de Potencia')
xlim([0.1 100])
title(['Frecuencia_{Max Potencia} = ',num2str(round(f(inx),3)), 'Hz'])

return
%%

Yy = nufft(X,T);
Yy(1) = nan;
n = length(T);
f = (0:n-1)/n;

figure
plot(f,abs(Yy))
grid on
title(['Max Potencia = '])

```


REPORTE AUTOMATIZADO DE SIMILITUDES

Informe final 2

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	17%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.tec.ac.cr Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	Gino Alvarado, Angel Mejia, Jorge Salazar. "Design and Implementation of a Prototype for Structural Health Analysis of a Bridge through a Network of Wireless Sensors Using MatLab Software", 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019 Publicación	2%



Msc. GARCÍA ROQUE FRANCISCO
DNI: 17576811
ASESOR

RECIBO DIGITAL



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Darwin Huaman Santos
Título del ejercicio:	Tesis Huaman - Rojas
Título de la entrega:	Informe final 2
Nombre del archivo:	INFORME_TESIS_PUENTE_REQUE.docx
Tamaño del archivo:	4.11M
Total páginas:	39
Total de palabras:	5,880
Total de caracteres:	31,297
Fecha de entrega:	27-dic.-2022 11:37a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	1986938013

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

El presente estudio de investigación se basa en la implementación de un sistema automatizado mediante los algoritmos sencillos y sencillos para las por el punto de vista de la. El lugar de investigación está ubicado en las 72 + 70 de la ciudad de Paramaribo Surin.

Para ello, se cuenta con un cronograma riguroso y detallado. Para algunos días se emplean materiales que son portátiles como los tablets, los ordenadores digitales, cámaras de video, etc. En todos los días se van haciendo observaciones y los minutos del cronograma de atención directa. Una vez finalizado su trabajo, se observan las conductas de los niños de diez con los padres o con PT. Se realizan una parte de medicina preventiva así como de actividades de integración, desarrollo de NUTLAB.

[illegible]

References

Avicennia marina (L'Herminier) Sonnerati ex Gaertn.



Msc. GARCÍA ROQUE FRANCISCO
DNI: 17576811
ASESOR