



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

“INGENIERO ELECTRÓNICO”

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA  
EL ANALISIS DE SALUD ESTRUCTURAL DE UN PUENTE  
A TRAVÉS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS  
UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB”**

Autores:

Ángel Tito Mejía Chuva

Jorge Andrés Salazar Vallejo

Tutor:

Ing. Gino Alvarado

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

2019

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ángel Tito Mejía Chuva y Jorge Andrés Salazar Vallejo, autores del proyecto técnico: “Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab”, declaramos que el contenido de este proyecto técnico aquí descrito es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, enero del 2019

---

(f) Ángel Tito Mejía Chuva

C.I: 0950132365

---

(f) Jorge Andrés Salazar Vallejo

C.I: 0925807992

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES

A través de esta declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

Guayaquil, enero del 2019

---

(f) Ángel Tito Mejía Chuva  
C.I: 0950132365

---

(f) Jorge Andrés Salazar Vallejo  
C.I: 0925807992

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Msc. Gino Alvarado certifico que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico de titulación “**Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab**”, realizado por los señores **Ángel Tito Mejía Chuva** y **Jorge Andrés Salazar Vallejo** para la obtención del título de **Ingeniero Electrónico**.

Por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana.

En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Guayaquil, enero del 2019

---

Ing. Gino Alvarado Mejía

## DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación va dedicado a mis padres Ángel y Zoila (+) quienes son los principales responsables de todos mis éxitos y logros cosechados durante mi vida personal y profesional, sin su trabajo y sacrificio nada de esto habría sido posible, dedico también esto a mi hermana Dora quien es parte importante de mi vida.

## DEDICATORIA

El tiempo es el mejor aliado de los pacientes y sobre todo para aquellos que desean tiempos mejores y este tiempo es el mejor de todos, porque confié en la promesa de Dios cuando dice: No temas, que yo soy contigo; no desmayes, que yo soy tu Dios que te esfuerzo: siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia (Isaías 41:10 Reina Valera 1909).

Todo mi agradecimiento y amor a mi padre el Ing. Jorge Salazar Carrasco, que sembró en mí el carácter de conquistador que no teme a enfrentar las adversidades en los terrenos que presenta la vida. A mi madre Sra. Isaura Vallejo González a quien debo mi vida, ya que soy testimonio de su esfuerzo y atenciones diarias.

A mi Padre Celestial quien en su propósito eterno me puso en esta tierra para desempeñar la labor que estoy dispuesto a efectuar con su ayuda y fortaleza.

A mis abuelos Juvenal Lozano “Papi Juve” gracias por sus oraciones y amor. A María Carrasco (+) “Mariotita”, cuanto me hubiera gustado que disfrute conmigo este tiempo, pero sé que lo voy a hacer por usted y por mí. A Magdalena González “Mamita” su cariño y caricias me alentaron hasta cumplir este sueño.

A la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil y a los salones de la Facultad de Ingeniería en Electrónica que me acogieron para darme esta formación profesional. A todos los que tendrán la oportunidad de leer este libro, les ofrezco las páginas de este joven estudiante que se esforzó por lograr el anhelo de una sociedad sedienta de cambios en todos los hijos/as de familias azotadas por el monstruo de la miseria.

## AGRADECIMIENTO

Por medio de estas palabras queremos agradecer a Dios por la sabiduría y bendiciones, por su ayuda y guía y a nuestros padres que han sido un pilar fundamental en la culminación de esta etapa de nuestras vidas.

El presente trabajo de Investigación es un esfuerzo en el que, directa o indirectamente, participaron varias personas, leyendo, opinando, corrigiendo, teniendo paciencia, dando ánimo, acompañándonos en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad, por tal razón está dirigido a toda la sociedad que pueda tener acceso a él, con el fin de demostrar que, con esfuerzo y dedicación, podemos alcanzar grandes metas.

Así mismo Nuestros sinceros agradecimientos al Msc. Ing. Gino Alvarado Mejía. MET, quien, con su ayuda desinteresada, nos brindó información relevante, próxima, y muy cercana a la realidad de nuestras necesidades, gracias también por su paciencia y por su atenta lectura de este trabajo.

## RESUMEN

Año	Título	Alumnos	Tutor	Tema de titulación
2019	Ingeniero Electrónico	Angel Tito Mejía Chuva Jorge Andres Salazar Vallejo	Ing. Gino Alvarado Mejía, Msc.	Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software MatLab

El presente proyecto plantea el desarrollo de un prototipo de monitoreo de salud estructural usando WSN siglas en ingles de Wireless Sensor Networks, que sería una red de sensores inalámbricos, cuyo objetivo es determinar el estado de una estructura de forma eficaz, sencilla y sin altos costos de implementación.

El desarrollo de este dispositivo se lleva a cabo por medio de un Arduino Uno, dicho equipo es usado debido a su capacidad de almacenamiento y adaptabilidad ya que es el encargado de recopilar los datos por medio de los sensores que estarán conectados a él.

Los sensores usados para la elaboración de este proyecto de titulación, son los módulos de vibración SW-420 elegidos ya que en conjunto con un OPAMP LM393 ayuda a la detección de alguna vibración en el umbral requerido, estos sensores de vibración están ubicados sobre la estructura a analizar, ya que con eso se puede obtener una medición más exacta y datos más precisos por lo que permiten determinar el estado de la misma, gracias a normativas internacionales las cuales fueron usadas para obtener conclusiones sobre la estructura monitoreada.



Para la transmisión de datos se utiliza dispositivos XBee debido a su baja latencia y gran sincronización de comunicación predecible, ya que esta aplicación requiere de un alto tráfico de datos. Los cuales se basan en el estándar 802.15.4 usado para crear redes punto a punto o punto-multipunto, la configuración se realiza mediante el software XCTU logrando una comunicación de protocolo abierto, los cuales son los encargados de enviar la información de forma inalámbrica.

La información es almacenada en una base de datos de SQLite usando el lenguaje de programación Python, a través de la recolección de datos de los dispositivos de procesamiento y transmisión el programa de Matlab entrega resultados comparativos con las normas internacionales detalladas en la investigación y así determinando el tipo de daño de la estructura.

## ABSTRACT

Year	Profession	Students	Director of Technical Project	Technical Project
2019	Electronic Engineer	Angel Tito Mejía Chuva Jorge Andres Salazar Vallejo	Ing. Gino Alvarado Mejía, Msc.	Design and implementation of a prototype for structural health analysis of a bridge through a network of wireless sensors using MatLab software.

This project proposes the development of a prototype of structural health monitoring using WSN (Wireless Sensor Networks), which would be a network of wireless sensors, whose objective is to determine the state of a structure effectively, simply and without high implementation costs.

The development of this device is carried out by means of an Arduino Uno, this equipment is used due to its storage capacity and adaptability since it is the one in charge of collecting the data by means of the sensors that will be connected to it.

The sensors used for the elaboration of this project of titration, are the modules of vibration SW-420 chosen since in conjunction with an OPAMP LM393 helps to the detection of some vibration in the required threshold, these sensors of vibration are located on the structure to analyze, since with that it is possible to obtain a more exact measurement and more precise data reason why they allow to determine the state of the same one, thanks to international norms which were used to obtain conclusions on the monitored structure.

XBee devices are used for data transmission due to their low latency and great synchronization of predictable communication, since this application requires a high data traffic. Which are based on the 802.15.4 standard used to create point-to-point or point-to-multipoint networks, the configuration is done through the XCTU software achieving an open protocol communication, which are responsible for sending the information wirelessly.

The information is stored in a SQLite database using the Python programming language, through the collection of data from the processing and transmission devices the Matlab program delivers comparative results with the international standards detailed in the investigation and thus determining the type of damage to the structure.

## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION .....	1
1.1. El Problema .....	2
1.1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.1.2. Ubicación del problema a tratar .....	3
1.2 Delimitación .....	4
1.2.1 Delimitación temporal.....	4
1.2.2 Delimitación espacial .....	5
1.2.3 Delimitación académica .....	5
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Tipos de Puentes .....	7
2.1.1 Puentes de arco.....	7
2.1.2 Puentes con vigas.....	7
2.1.3 Puentes de armadura.....	8
2.1.4 Puentes en voladizo .....	8
2.1.5 Puentes de suspensión o colgantes .....	9
2.1.6 Puentes atirantados .....	10
2.2 Clasificación de Puentes.....	10
2.3 Mantenimiento de Puentes .....	12
2.3.1 Vida útil .....	12
2.3.2 Puentes de concreto .....	12
2.3.3 Mantenimiento de vigas .....	12
2.4 Factores que desencadenan el colapso estructural y la clasificación de las causas de un colapso en una estructura.....	13
2.5 Sistema de monitoreo de salud estructural de puentes.....	13
2.5.1 Análisis de Daño en puentes .....	15
2.6 Métodos de Detección De Daño .....	16
2.7 Pronostico del Daño .....	18
2.9 Método de vibración experimental en puentes, utilizados para la medición de dicha vibración.....	19
2.10 Procedimiento para la excitación de una estructura .....	19
2.10.1 Excitación por efectos ambientales .....	20
2.10.2 Excitación por desplazamiento .....	21

2.10.3	Excitación por liberación de cargas .....	21
2.10.4	Excitación por vibradores .....	22
2.10.5	Excitación por impacto .....	22
2.11	Normativas usadas para el análisis de vibraciones. ....	23
2.11.1	Norma Australiana. (Australia 2187.2).....	23
2.11.2	Norma Británica. (British Standard 7385) .....	24
2.11.3	Norma Instituto Central de Investigación de Minería y Combustible. (CMRI proposed Indian Standards) .....	24
2.11.4	Norma Dirección General de Seguridad de Minas India. (DGMS India).....	25
2.11.5	Norma Alemana. (DIN4150) .....	26
2.11.6	Norma Indonesia. (Indonesian Standard SNI 7571) .....	26
2.11.7	Norma Brasileña. (Brazilian Standard NBR 9653) .....	27
2.11.8	Norma Neozelandesa. (New Zealand Standard 4403) .....	27
2.11.9	Norma Española. (Criterio de Prevención UNE 22.381).....	27
2.11.10	Norma Suiza. (Swiss Standard SN 640 312a).....	28
2.11.11	Norma Canadiense. (Toronto 514).....	29
2.11.12	Escocia - PAN50 .....	29
2.12	Arduino.....	30
2.12.1	Tipos de Arduinos.....	31
2.12.3	Arduino Uno R3 .....	31
2.13	Módulo de vibración SW-420.....	32
2.14	XBee.....	33
2.15	Arduino Shields .....	34
2.16	Phyton .....	34
2.16.1	Ventajas de Python: .....	35
2.17	JAVA.....	36
2.17.1	Características de JAVA .....	36
2.17	SQLite .....	37
2.18	Processing.....	37
2.19	Arduino IDE .....	38
2.20	MATLAB.....	38
2.21	Visual Studio code .....	39
2.22	Protocolos de comunicación inalámbrica del Grupo 802.15.x.x.....	40
2.22.1	IEEE 802.15.1 Bluetooth .....	41
2.22.2	IEEE 802.15.2 Coexistencia.....	42
2.22.3	IEEE 802.15.3 High Rate Wireless Personal Networks (HR-WPAN) .....	42

2.22.4 IEEE 802.15.4 ZigBee .....	42
2.22.4.1 Topologías de red soportadas por ZigBee:.....	43
2.23 Redes inalámbricas.....	43
2.23.1 Tipos de redes inalámbricas según su rango de cobertura.....	43
2.23.2 Ventajas de las Redes inalámbricas .....	45
2.24 Topología de las Redes inalámbricas .....	46
2.25 Red de sensores inalámbricos (WSN).....	47
2.25.1 Características red de sensores inalámbricos (WSN).....	48
2.25.2 Ventajas y desventajas de una red de sensores inalámbricos (WSN).....	49
2.26 Elementos y dispositivos que componen una WSN .....	49
2.27 Topologías de redes de sensores inalámbricos (WSN).....	50
3. MARCO METODOLÓGICO.....	53
3.1 Metodología de la investigación .....	53
3.1.1 Investigación Bibliográfica-Documental.....	53
3.1.2 Investigación de Campo .....	53
3.1.4 La entrevista .....	54
3.2 Procesamiento y Análisis de datos.....	54
3.3 Recolección de información .....	54
3.4 Propuesta de Solución.....	54
3.5 Elaboración de la Red .....	55
3.6 Diagrama de bloques Programa Arduino .....	59
3.7 Diagrama de bloques Base de Datos Python .....	60
3.8 Modulo de Vibración SW-420 .....	61
3.9 Placa Arduino UNO.....	62
3.10 XBee Explorer USB.....	64
3.11 Módulo XBee Pro S1.....	64
3.12 Configuración de los XBee Pro S1 en el programa XCTU .....	66
3.13 Prueba de transmisión de Datos .....	68
3.14 Lenguaje de programación (Python).....	69
3.15 Base de datos .....	69
3.16 Visual Studio Code.....	70
3.17 Matlab y Sqlite .....	71
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	74
4.1 Implementación del proyecto .....	74
4.2 Explicación de la aplicación .....	81
4.3 Interpretación de resultados obtenidos .....	88

CONCLUSIONES .....	93
RECOMENDACIONES .....	95
Bibliografía .....	96
ANEXOS .....	99
Presupuesto .....	99
Cronograma.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de Puentes .....	11
Tabla 2.2 Factores que desencadenan el colapso estructural y la clasificación de las causas de un colapso en una estructura. ....	13
Tabla 2.3 Norma Australina (Australia 2187.2).....	23
Tabla 2.4 Norma Británica (British Estándar 7385).....	24
Tabla 2.5 Norma CMRI .....	25
Tabla 2.6 Norma DGMS India.....	25
Tabla 2.7 Norma Alemana (DIN4150).....	26
Tabla 2.8 Norma Indonesia (SNI7571) .....	26
Tabla 2.9 Norma Brasileña (NBR9653).....	27
Tabla 2.10 Norma Neozelandesa (NZS 4403) .....	27
Tabla 2.11 Norma Española (Criterio de Prevención UNE 22.381) .....	28
Tabla 2.12 Norma Suiza (Swiss Standard SN 640 312a).....	28
Tabla 2.13 Norma Canadiense (Toronto 514).....	29
Tabla 2.14 Rango de velocidad de partícula en relación con tipos de daños. ....	30
Tabla 2.15 Tipos de Bluetooth por su potencia de transmisión .....	41
Tabla 3.1 Características eléctricas del sensor de vibración .....	62
Tabla 3.2 Características mecánicas del sensor de vibración.....	62
Tabla 3.3 Características técnicas del Arduino UNO.....	63
Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del módulo XBee Pro S1 .....	65
Tabla 3.5 Configuración de los XBee Pro S1 en el XCTU .....	66
Tabla 3.6 Configuración de los XBee Pro S1 en el XCTU .....	67
Tabla 3.7 Comandos utilizados para conectar SQLite en MatLab .....	73



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica del puente a analizar .....	4
Figura 2.1. Puente de acceso norte a Babahoyo .....	7
Figura 2.2. Puente con Vigas.....	8
Figura 2.3. Puente de armadura.....	8
Figura 2.4. Puente en voladizo .....	9
Figura 2.5. Puente de suspensión o colgantes .....	9
Figura 2.6. Puente atirantados .....	10
Figura 2.7 Arduino Uno R3.....	32
Figura 2.8. Diagrama sensor de Vibración.....	33
Figura 2.9 Módulo Xbee .....	33
Figura 2.10 MatLab.....	39
Figura 2.11 Cobertura redes inalámbricas.....	44
Figura 2.12 Tipos de Topologías.....	46
Figura 2.13 Topologías WSN.....	50
Figura 2.14 Topología en Estrella .....	51
Figura 2.15 Topología en malla .....	51
Figura 2.16 Topología en árbol .....	52
Figura 3.1. Componentes Propuesta de solución .....	55
Figura 3.2 Diagrama de bloques físico del prototipo .....	56
Figura 3.3 Diagrama de conexión .....	57
Figura 3.4 Diagrama esquemático general del proyecto .....	58
Figura 3.5 Diagrama de flujo Programa Arduino.....	59
Figura 3.6 Diagrama de flujo Base de Datos Python .....	60
Figura 3.7. Diagrama sensor de Vibración.....	61
Figura 3.8. Arduino Uno, unidad de procesamiento .....	63
Figura 3.9. XBee Explorer USB.....	64
Figura 3.10. Módulo XBee Pro S1 .....	65
Figura 3.11 Configuración del dispositivo XBee (BB) con el software XCTU .....	66
Figura 3.12 Configuración del dispositivo XBee (DD) con el software XCTU .....	67
Figura 3.13 Topología de la red empleada.....	68
Figura 3.14. Visualización en el cmd .....	68
Figura 3.15. Pruebas de transmisión y recepción.....	69
Figura 3.16. Logo lenguaje de programación usado Python .....	69
Figura 3.17 Aceptación de sqlite.....	70
Figura 3.18. Programación en Visual Studio Code .....	71
Figura 3.19 SQLite python .....	71
Figura 3.20 Relación Matlab y SQLite.....	72
Figura 4.1 Puente ingreso “El Arbolito” .....	74
Figura 4.2 Estructura analizada.....	75
Figura 4.3 Montaje del prototipo.....	75
Figura 4.4 Montaje del prototipo.....	76
Figura 4.5 Montaje del sensor .....	76
Figura 4.6 Comando ejecución grafica real time .....	77
Figura 4.7 Adquisición de datos en tiempo real .....	77

Figura 4.8 Adquisición de datos.....	78
Figura 4.9 Comportamiento de la estructura en tiempo real .....	78
Figura 4.10 Comportamiento de la estructura en tiempo real .....	79
Figura 4.11 Comportamiento de la estructura en tiempo real .....	79
Figura 4.12 Comportamiento de la estructura en tiempo real .....	80
Figura 4.13 Comportamiento de la estructura en tiempo real .....	80
Figura 4.14 Pantalla de la interfaz.....	81
Figura 4.15 Selección del sensor.....	82
Figura 4.16 Cargar mediciones .....	82
Figura 4.17 Limpiar datos .....	83
Figura 4.18 Realizar análisis .....	83
Figura 4.19 Sección de Graficas .....	84
Figura 4.20 Grafica de las mediciones analógicas .....	85
Figura 4.21 Medición Modulada.....	86
Figura 4.22 Análisis de la base de datos .....	87
Figura 4.23 Resultados del análisis del sensor 1 .....	88
Figura 4.24 Selección de la Base de datos .....	88
Figura 4.25 Grafica en tiempo real mitad de tiempo.....	89
Figura 4.26 Análisis centro del puente.....	89
Figura 4.27 Centro del puente analizado.....	90
Figura 4.28 Selección de Base de Datos inicio del puente.....	91
Figura 4.29 Comportamiento en Tiempo Real de las mediciones al inicio del puente .....	91
Figura 4.30 Análisis Completo.....	92
Figura 4.31 Grietas presentes al inicio del puente.....	92

## INTRODUCCION

Ecuador es un país en el cual se ha invertido en infraestructuras como carreteras, caminos y puentes convirtiéndose en un pilar fundamental en el desarrollo del comercio, la economía y el turismo.

A partir del movimiento sísmico de 7.8 Mw ocurrido el 16 de abril del año 2016 cuyo epicentro fue en la ciudad de pedernales en la provincia de Manabí, se ha despertado una interrogante en la población en general sobre la salud de las estructuras, el cumplimiento de normas y la calidad de las edificaciones, cabe recalcar que estas construcciones a pasar de los años tienden a tener desgastes en sus estructuras lo cual genera un peligro y un riesgo a la vida de la población.

Dicha comprobación y valoración de las edificaciones ha comenzado de a poco a tomar importancia en el país, ya que en la actualidad las entidades u organizaciones encargadas de realizar dicha valoración basan su apreciación en base a valoraciones visuales, siguiendo normas vigentes en el país.

La carencia de un sondeo persistente a las variables de edificaciones en puentes ha ocasionado el interés para el diseño de un prototipo para el análisis de salud estructural en puentes, ya que la carencia de esta estructura ocasionaría un problema en el avance del desarrollo social sostenible de la población, privando así de un crecimiento económico y cortando toda comunicaciones generando un impacto negativo en todos los sectores y función de la sociedad.

El presente trabajo detalla el análisis del diseño de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos, que permitirá la recepción de información y conocer el estado del puente ubicado en la Cooperativa Héctor Cobos conocida como el arbolito en la ciudad de Durán, el desarrollo y elaboración de este proyecto es de suma importancia ya que es el único acceso por el cual las personas de dicha cooperativa tienen para lograr comunicarse hacia el resto de la ciudad.

## **1.1.El Problema**

### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Las estructuras como edificios, puentes, monumentos tienen su tiempo de vida útil y este se prolongará dependiendo de su uso y mantenimiento preventivo o correctivo encargado por las diferentes entidades municipales o públicas. En caso de no ser atendidas correctamente podrían representar un riesgo para los habitantes de un sector y provocar accidentes con resultados mortales. El presente trabajo abarcará sobre el monitoreo de estructuras de puentes ubicadas en diferentes sectores del cantón Durán que darán como resultados un análisis de su estado físico por medio de la utilización de sensores de vibración.

El 9 de septiembre del año 2003 en la Cooperativa Héctor Cobos conocida como el arbolito en la ciudad de Duran se levantó un puente de hormigón armado sobre el estero “la matanza” con la idea de que, dicha edificación sirva para conectar la Cooperativa Héctor Cobos con el sector de barrio lindo y así ayudar al flujo vehicular y ahorrar tiempo en el transporte de ciudadanos y habitantes de dicho sector.

De esa manera se establece la inmensa necesidad de que la integridad del puente se encuentre en perfecto estado, para que el traslado de los habitantes no se vea interrumpido y salvaguardar sus vidas ante un posible desperfecto o colapso del mismo.

Y así llevar a cabo el desarrollo de este prototipo para el análisis estructural, ya que el puente no cuenta con un mantenimiento que garantice su integridad, y poder diagnosticar la salud del puente y prevenir posibles daños que generen malestar en los habitantes o una situación que ponga en riesgo la vida de las personas por un posible colapso.

El proyecto técnico de titulación se encuentra delimitado por la realización de un prototipo para el análisis de salud estructural en un puente, el cual estará conformado por una placa Arduino UNO, que será utilizada para el procesamiento y transmisión de datos, cargar códigos y ejecutar el programa; también contará con un sensor de vibración Sw-420 que será el encargado de generar pulsos eléctricos para su posterior muestreo y escalamiento, por último se usaran módulos XBee S1 para la comunicación inalámbrica.

El proyecto técnico busca ser un aporte mediante la elaboración de un prototipo de bajo costo que ayude a determinar el estado de las estructuras de una manera sencilla, siempre y cuando considerando las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC), determinadas por el Ministerio de Desarrollo y Vivienda (MIDUVI) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

### **1.1.2. Ubicación del problema a tratar**

En la Ciudadela Héctor Cobos de la ciudad de Durán conocida por su moradores y habitantes como el sector el Arbolito, se levanta una edificación sobre el estero “la

matanza” el cual es la principal vía de comunicación y contacto entre los habitantes de la ciudadela y el resto de la ciudad.

Este puente se encuentra ubicado geográficamente en la avenida Samuel Cisneros en la ciudad de Durán al ingreso de la Ciudadela, cuyo objetivo principal es lograr una conexión y acortar el camino, generando un ahorro considerable de tiempo debido que sirve de interconexión para las demás partes de la ciudad.



*Figura 1.1. Ubicación geográfica del puente a analizar*  
Fuente: Google Maps

Por eso debido a la importancia que esta estructura vial representa para los moradores y habitantes del sector y la ciudad de Durán se ha elegido esta edificación como elemento de control y observación para diagnosticar su estado estructural.

## 1.2 Delimitación

### 1.2.1 Delimitación temporal

Este proyecto técnico es efectuado en el año 2018 en un tiempo de duración de ‘6’ meses.

### **1.2.2 Delimitación espacial**

La implementación de este proyecto técnico se realizó en el puente que se levanta sobre el estero la matanza en la ciudad de Duran, el cual conecta a la cooperativa el arbolito con el resto de la ciudad.

### **1.2.3 Delimitación académica**

En lo relacionado al área académica que incide para desarrollar este proyecto técnico se ha utilizado los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería Electrónica como: programación, sistemas micro-procesados, electrónica analógica y digital, propagación, redes inalámbricas.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Medir las vibraciones producidas por los vehículos que circulan por el puente utilizando el sensor de vibración SW-420 para determinar el estado de la estructura.
- Normalizar, escalar y filtrar los datos captados por los sensores para establecer una parametrización y obtener resultados
- Visualizar en tiempo real el comportamiento de la estructura analizada y almacenar los datos obtenidos.

- Establecer una comunicación entre los prototipos que se utilizarán para el análisis de salud estructural por medio de sensores a través de Módulos Xbee-Zigbee a uno central.



# MARCO TEÓRICO

## 2.1 Tipos de Puentes

Según la compañía de construcción marítima y terrestre COCOA los puentes se pueden clasificar de la siguiente manera: (COCOA, s.f.)

### 2.1.1 Puentes de arco

Este tipo de puentes utilizan el arco como factor estructural principal (el arco siempre se encuentra debajo del puente, nunca por encima). Están hechos con una o más conjunto de dos piezas metálicas articuladas, dependiendo de qué tipo de capacidad y resistencia de tensión deben soportar. Ejemplo de puente de arco es el puente del acceso norte a Babahoyo.



*Figura 2.1.* Puente de acceso norte a Babahoyo  
Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

### 2.1.2 Puentes con vigas

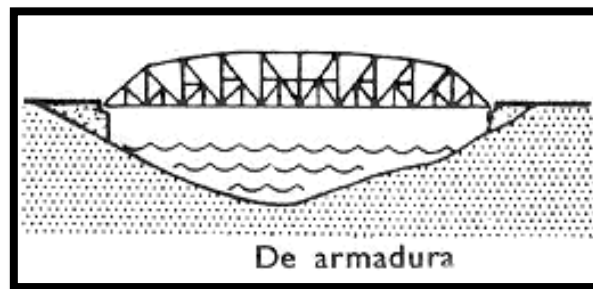
El tipo de puente más simple y común utilizado en el mundo real. Este tipo puede ser bastante efectivo, incluso si su diseño no es de agrado a la vista. La mayoría de los puentes de carretera entran en esta categoría, hechos de vigas y hormigón armado.



*Figura 2.2. Puente con Vigas*  
Fuente: Alberto García

### **2.1.3 Puentes de armadura**

Este es un tipo de puente con vigas, excepto que tiene vigas interconectadas. Los rayos están en forma de triángulo, ya sea encima o debajo del puente para hacerlo más fuerte.



*Figura 2.3. Puente de armadura*  
Fuente: puentes. Galeón

### **2.1.4 Puentes en voladizo**

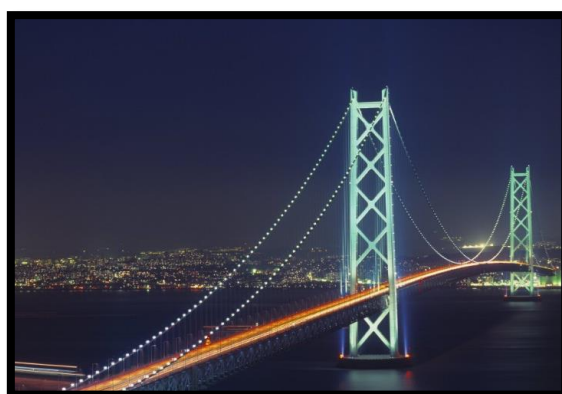
De apariencia similar a los puentes en arco, pero varían en que el voladizo tiene un concepto muy interesante. Ya que soporta el peso con un contrapeso en un extremo.



*Figura 2.4. Puente en voladizo*  
Fuente: blog.360gradosenconcreto

### **2.1.5 Puentes de suspensión o colgantes**

Son algunas de las estructuras más bellas que conoce la humanidad. Sus elegantes cables curvos. No solo son agradables a la vista, sino que permiten a los ingenieros diseñar tramos más largos que cualquier otro tipo. Los puentes colgantes funcionan utilizando sus cables principales para transferir peso desde cualquier lugar del puente, sobre la parte superior de las torres, hasta los puntos de amarre en cada borde del puente. Esto es bastante seguro.



*Figura 2.5. Puente de suspensión o colgantes*  
Fuente: Cnn en español

### **2.1.6 Puentes atirantados**

Los puentes atirantados son similares en concepto a los puentes colgantes y, por lo tanto, a veces se juntan con ellos. Sin embargo, difieren en que no hay un cable continuo que se extienda de un extremo del puente al otro. En cambio, utiliza sus torres como punto focal con cables que bajan a la cubierta a ambos lados en líneas rectas. A diferencia de un puente colgante en el que el cable principal no está apretado, los cables en un "puente inmovilizado" están muy tensos.



*Figura 2.6. Puente atirantados*  
Fuente: arqhys

## **2.2 Clasificación de Puentes**

Existe una extensa variedad de puentes o edificaciones que se levantan para el uso de peatones o de uso vehicular, entre los ya mencionados que son como ejemplo: puente de viga, puentes de arcos, así como atirantados, etc. También existen métodos usados para la edificación que generan diversas diferencias uno de otros, al igual que su extensión y durabilidad, tanto sus materiales como su propósito que permiten catalogar de la siguiente manera según se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1  
*Clasificación de Puentes*

De acuerdo a su longitud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; de 10 m Alcantarillas.</li> <li>• de 10 a 20 m Puentes menores.</li> <li>• de 20 a 70 m Puentes medianos.</li> <li>• &gt; de 70 m Puentes mayores.</li> </ul>
De acuerdo a su utilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puentes peatonales o pasarelas.</li> <li>• Puentes de carreteras o viaductos.</li> <li>• Puentes de ferrocarriles.</li> <li>• Puentes para canales o acueductos.</li> <li>• Puentes grúas.</li> </ul>
De acuerdo con los materiales usados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera.</li> <li>• Acero.</li> <li>• Hormigón Armado.</li> <li>• Hormigón pre y pos tensado.</li> <li>• Mampostería.</li> <li>• Mixtos.</li> </ul>
De acuerdo con su objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puentes rurales.</li> <li>• Puentes urbanos.</li> <li>• Puentes provisorios.</li> <li>• Puentes militares.</li> </ul>
De acuerdo a su trazado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avigeados.</li> <li>• Pasos superiores.</li> <li>• Pasos inferiores.</li> <li>• En curva.</li> </ul>
De acuerdo al tipo de fundación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puentes flotantes o de pontones.</li> <li>• Puentes de fundación directa.</li> <li>• Puentes de fundación indirecta sobre pilotes. Puentes sobre macro pilotes in situ.</li> <li>• Puentes con cámara neumática.</li> </ul>

Fuente: (ACHS, 2014)

## **2.3 Mantenimiento de Puentes**

Según (Chavez & Rosales, 2016) uno de los aspectos para que un puente tenga una vida útil más larga, es que su diseño estructural sea adecuado para la carga vehicular que deberá soportar.

### **2.3.1 Vida útil**

El principio fundamental que define la vida útil de un puente son las consideraciones de diseño estructural que se hayan evaluado para la carga y/o tráfico vehicular que soportará. En caso de estructuras sobre ríos también se considerará aspectos como el caudal, así como trabajos de dragados para la realización de sus bases, realizar inspecciones de calidad de sus materiales y del desarrollo de construcción.

### **2.3.2 Puentes de concreto**

En el caso de los puentes de concreto, es común un mantenimiento preventivo cada 2 años, pero esto está directamente relacionado con su carga diaria de tráfico vehicular. El proceso de mantenimiento se basa en el cambio de piezas despegadas o deterioradas.

### **2.3.3 Mantenimiento de vigas**

El problema principal que afecta a los puentes de concreto es el desgaste de las vigas o falla de una de estas causadas por accidentes de tránsito o por la circulación de vehículos pesados. La solución para una viga afectada por sobrepeso es la aplicación de una inyección epóxica para su restauración.

## 2.4 Factores que desencadenan el colapso estructural y la clasificación de las causas de un colapso en una estructura.

Los factores que desencadenan el concepto de colapso en una estructura y la clasificación de las causas de un colapso en una estructura son las siguientes, representados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

*Factores que desencadenan el colapso estructural y la clasificación de las causas de un colapso en una estructura.*

<b>Factores que desencadenan el colapso estructural</b>	<b>Clasificación de las causas de un colapso en una estructura.</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La caída completa de la estructura.</li><li>• El inminente colapso de la estructura</li><li>• Menoscabo sustancial de la estructura.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mal diseño</li><li>• Construcción defectuosa</li><li>• Fallas en los cimientos</li><li>• Cargas extraordinarias</li><li>• Fallas inesperadas</li><li>• Combinación de causas</li></ul>

Fuente: (Arkiplus, s.f.)

## 2.5 Sistema de monitoreo de salud estructural de puentes

El sistema y los sensores fueron desarrollados para cubrir los parámetros de los mecanismos de deterioro más importantes: corrosión de armaduras en puentes, carbonatación de concreto, ciclos de congelación-descongelación, reacción álcali-sílice y daños mecánicos, así como los cambios en el comportamiento de las estructuras y seguridad: deformación estática, deformaciones; Anchos de grietas y vibraciones (frecuencias, amplitudes, aceleraciones y modos de vibración).

El progreso de los diversos tipos de mecanismos de daños puede predecirse monitoreando los parámetros físicos y químicos clave de los materiales (como

temperatura, humedad y pH del concreto, medidos en la superficie de la estructura y como un perfil a través del espesor del concreto), y / tasa de corrosión del refuerzo) y parámetros mecánicos clave (como deformaciones, deflexiones, vibraciones).

El uso de sistemas de monitoreo permanentes tiene varias ventajas una vez que se instala el sistema: (i) reducir los costos operativos de inspecciones y mantenimiento en un 25% y los costos relacionados con el tráfico en un 30% al reducir el número y el alcance de las inspecciones y (ii) reducir los costos totales de vida de los puentes en un 10% aplicando los modelos mejorados de predicción de vida útil que ya se encuentran en la etapa de diseño.

Para garantizar la viabilidad del estado de los puentes, la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica "Gheorghe Asachi" de Iasi ha desarrollado un programa de investigación con el alcance principal para desarrollar un sistema de SHM para la evaluación de la durabilidad (Comisu, Taranu, Boaca, & Scutaru, 2006). El sistema debe interactuar e integrar la práctica real basada principalmente en inspecciones visuales y combinar la respuesta de varios sensores confiables diferentes, instalados en la estructura para monitorear la severidad de un daño estructural, con modelos realizados de deterioro mejorados.

En esencia, este sistema SHM es capaz de determinar y evaluar la funcionalidad, la fiabilidad de la estructura y la funcionalidad restante en términos de durabilidad (Souza, Félix, Bento, & Figueiras, 2011).



Un sistema de SHM puede contribuir a la evaluación de daños en los cinco niveles principales (Haritos & Owen, 2004).

- Nivel I - Detección de daños cuando identifica que el daño ha ocurrido
- Nivel II - Ubicación del daño, cuando identifica que el daño ha ocurrido y determina la ubicación del daño
- Nivel III - Tipificación del daño, donde identifica el daño que ha ocurrido, la ubicación del daño y estima el tipo de daño
- Nivel IV: extensión del daño, donde se identifica que el daño ha ocurrido, la ubicación del daño, se estima el tipo de daño y se evalúa la gravedad del daño
- Nivel V: extensión del daño, donde se identifica que el daño ha ocurrido, la ubicación del daño, el tipo de daño, la severidad del daño y se evalúa la vida útil restante del puente o el estado de viabilidad.

### **2.5.1 Análisis de Daño en puentes**

En el año 2011 la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural realiza una investigación que lleva por nombre “Detección de daño en puentes mediante un modelo experimental” (Estructural, 2011) la cual determina que las causas de daños en puentes y en los elementos que componen su estructura son diversos, pero de manera factible se pueden clasificar de forma general en la siguiente manera:

- **Defecto por deformación plástica.** Considerando que las edificaciones se conforman con material alterables, se debe considerar los cambios en las dimensiones que producen las cargas aplicadas, los materiales actúan en carácter elástico cuando las fuerzas que se aplican sobre ellos son pequeñas. Se admite que las distorsiones se recuperan cuando se descarga y el elemento recupera su forma original.

- **Defecto por deformación inelástica.** – Este marco sugiere que, al momento de aplicar las fuerzas que se suministran a un componente de la estructura son excesivas sobrepasan el límite del material en su elasticidad y provoca distorsiones permanentes en el mismo.
- **Defecto por pandeo.** – Es una falla típica debido a cargas de compresión, se produce cuando debido a estas cargas de tensión generan inestabilidad estructural y deflexiones adyacentes y por consiguiente en momentos de flexión conlleva a más imperfecciones, cuando el pandeo se presenta en la estructura suele ser catastrófica.
- **Defecto por fatiga.** – Esta falla se produce cuando una estructura se somete a cargas cíclicas, el deterioro se inicia con defectos o micro-grietas, las cuales dan origen y aparición de grietas y deterioro en el material.
- **Defecto por fluencia.** – Este defecto se presenta y ocurre cuando un componente de la estructura se sujeta a cargas estáticas en etapas largos y prolongados.
- **Defectos por deterioro metálico y químico.** – Es la corrosión del material por irrupción química, “es un transcurso crecidamente ligado con el lapso que depende de las particularidades del material y del medio ambiente” (ASM, 1998).
- **Defecto por fractura.** – Es considerada una falla drástica y ocurre cuando se presenta una ruptura de una o varias partes del puente o la estructura, en la mayoría de oportunidades que ocurre se deben a sobrecargas, y en ocasiones por defectos o grietas pre-existentes.

## 2.6 Métodos de Detección De Daño

Para poder determinar si una estructura presenta daños es necesario realizar pruebas las cuales se las agrupan en Destructivas y No Destructivas. Las Destructivas como su nombre lo indica la estructura es sometida a daños. No son muy utilizadas debido a los

altos valores que involucra; las No Destructivas se basa en la implementación de técnicas como rayos x, vibraciones, ultrasonido, etc.

En las técnicas No Destructivas pueden clasificarse en métodos locales y globales. Los métodos locales se caracterizan por analizar la estructura en una zona determinada relativamente pequeña utilizando radiografías, ultrasonido, campos electromagnéticos, etc. Estas técnicas son muy utilizadas debido a su eficacia, sensibilidad ya que son capaces de revelar daños, pero no son recomendables cuando el estudio de la estructura se encuentra fuera zonas accesibles para el operador.

En cuanto a los métodos globales se basan en el hecho que un daño localizado en un sitio específico de la estructura podría generar una reducción de la rigidez en ese lugar lo cual afectaría en la conducta general de la edificación en términos de tiempo y espacio. Una reducción de la dureza induce a una reducción de las frecuencias propias. Es decir, estos métodos basados en vibraciones de baja frecuencia monitorean los cambios en las frecuencias de resonancia, aumento de amortiguación o cambios de modos de vibración. Esta información adquirida permite determinar los estados y daños en las estructuras.

Es necesario destacar que estos cambios en las mediciones son demasiados pequeños como para poder determinar exitosamente el daño en todos los casos.

Por otro lado, hay otros tipos de factores que también influyen en la obtención de datos, como son los factores ambientales, los cambios de temperatura entre dos pruebas dinámicas puede generar diferencias en los parámetros dinámicos de la misma magnitud causados por el daño. Por lo que se necesitarían la implementación de técnicas más

avanzadas basadas en el control de vibraciones con el fin de amplificar estos pequeños cambios. Estos métodos basados en vibraciones han ganado popularidad debido a los avances logrados en métodos de análisis modal y tecnologías de monitoreo.

Los métodos de detección de daños basados en vibraciones también pueden clasificarse en métodos lineales y no lineales (Doebling, Farrar, Prime, & Shevitz, 1996). La característica principal de los métodos lineales es la suposición de linealidad de la estructura después de la presencia de una falla. Esta condición se considera normal y razonable a pesar de que la infraestructura muestra una conducta no lineal después de sufrir avería, como es el caso de que una grieta abierta provoque cambios causados en las condiciones de frontera. No obstante, las técnicas de detección de daños no lineales deben considerar cuando una grieta se abre o se cierra, pues como su nombre lo indican estas grietas producen cambios en la rigidez por lo que habría que considerar un factor adicional en la rigidez sobre el puente cuando está en funcionamiento. (Salgado, 2008).

## **2.7 Pronostico del Daño**

Como ya se ha mencionado anteriormente la tecnología empleadas dentro de SHM es cada vez más compleja y precisa en donde se pueden aplicar procesos de análisis más amplios: un pronóstico de daños también conocido como DP, del inglés. Esta se define como la estimación de vida útil restante de un sistema de ingeniería (Farrar, y otros, 2003). De esta forma la estimación toma los datos de los resultados en los modelos que desarrollan las predicciones de comportamiento estructural. Además, se considera factores sensibles para el ser humano como el “sentir” del usuario frente al funcionamiento del sistema que ayudará en mayor medida en el desarrollo de soluciones de DP. Es decir, DP, busca predecir el rendimiento de una edificación por medio de la

medición del estado actual del sistema (SHM), así como una evaluación de factores de carga en el futuro.

## **2.9 Método de vibración experimental en puentes, utilizados para la medición de dicha vibración.**

Según la real academia de la lengua española cita que una vibración es cada movimiento vibratorio, o doble oscilación de las moléculas o del cuerpo vibrante. (Española, 2018).

Estas vibraciones por lo general pueden exhibirse debido a problemas en la fabricación de un elemento que conforma el puente, o también debido a errores en las mediciones o equipos de calibración al usar una maquinaria.

Dentro de las posibles clasificaciones de una vibración tenemos:

- **Vibraciones libres:** Se clasifican de esta manera ya que se generan sin la necesidad de aplicar una fuerza externa para poder obtener una vibración.
- **Vibraciones forzadas:** Se denominan así ya que se presentan cuando se hace el uso de una fuerza externa para que la estructura genere una respuesta.

## **2.10 Procedimiento para la excitación de una estructura**

Cuando se habla de la excitación de la estructura o en una estructura se sugiere a diferente métodos o técnicas que se pueden usar para someter el puente en este tema a diferentes tipos de efectos, para lograr visualizar como actúa la estructura y lograr realizar mediciones de la vibración y el comportamiento del puente.

Según (Carrión Viramontes, Lozano Guzmán, Fabela Gallegos, Vázquez Vega, & Romero Navarrete, 1999) los métodos frecuentemente más utilizados para excitación de una estructura son:

- Efectos ambientales.
- Desplazamiento.
- Liberación de cargas.
- Vibradores.
- Impacto

#### **2.10.1 Excitación por efectos ambientales**

El procedimiento de excitación por efectos ambientales tiene su apoyo en las acciones que directamente tiene el medio ambiente con la estructura.

Para tomar en cuenta estas acciones que se relacionan directamente con la estructura podemos tener el tráfico vehicular que se genera sobre el puente, entre otros aspectos más vinculados con el medio ambiente semejantes a el viento, temperatura, terremotos, etc.; los cuales son varios de los agentes que generalmente se exhiben y podrían exponer ciertas vibraciones dentro del puente.

En relación al método de excitación ambiental, la aplicación más empleada es la que se refiere al tráfico vehicular, esto debido a las diversas ventajas que esta técnica nos brinda, ya que el servicio que brinda el puente no se debe parar o verse suspendido, otra ventaja sobre este método es que es de bajo costo, ya que solo se requiere el paso vehicular normal y en base a visualizaciones y estudio analizar la vibración que genera bajo dicha

condición, las cuales serán las circunstancias en las que el puente genera un servicio normalmente.

### **2.10.2 Excitación por desplazamiento**

Este procedimiento consiste en uso de una fuerza conocida como “al centro del puente”, en la cual se presenta un desplazamiento. La técnica que se usa en esta prueba se trata de aplicar dicha fuerza mencionada y liberarla de manera instantánea, con esto el puente tiende a volver a su puente de equilibrio, el cual hace oscilar de forma libre en contorno a su punto de equilibrio.

Este método se logra alcanzar o realizar con el uso de dispositivos que permitan aplicar la fuerza necesaria para la deflexión en el puente y que luego se permita librar toda la carga retenida y aplicada de forma inmediata.

Entre las cargas que se pueden aplicar tenemos de manera vertical y/u horizontal, esto permite que la excitación que se genera en la estructura sea de diferentes modos de vibraciones. Una gran desventaja de este método es el alto costo, y debido que las maquinarias empleadas y equipos a utilizar para la generación y medición del desplazamiento son dificultosas se requiere de un operador, y se llega a la conclusión que para pruebas en puente de gran tamaño y tamaño real genera complicación la realización de este método.

### **2.10.3 Excitación por liberación de cargas**

En relación a este procedimiento o método se aplica el mismo principio que el método anteriormente mencionado que es el de desplazamiento, la diferencia es que en esta

ocasión la vibración se genera cuando se suelta o se libera una carga representativa del puente que generalmente está colgada del centro del claro. Otra diferencia es que este método es de bajo costo y es posible utilizar en puentes largos.

#### **2.10.4 Excitación por vibradores**

La función de vibradores se ha últimamente en una de las técnicas más utilizadas en los últimos tiempos y esto se debe a que permite tener un mejor control sobre las señales de excitación.

Cuando se emplea una señal de excitación ya sea de frecuencia estática o efectuando un barrido en un grado de frecuencia preestablecido y anticipada es probable conocer la magnitud de la fuerza que se aplica. Generalmente estos dispositivos vibradores son servo-hidráulicos o electromecánicos que permiten fijar fuerzas máximas variables entre 5 y 90 kN.

La versatilidad es una de las ventajas más importantes de este método por vibradores, además que permite definir las funciones de respuesta en frecuencia o en otros casos de funciones de transferencia. La desventaja principal de este método es que el costo es muy elevado, además que la ubicación y empleo del vibrador son complicados. Otras de las variables que se debe tomar en cuenta al utilizar este método es que se debe cerrar por completo el servicio del puente por un largo periodo de tiempo.

#### **2.10.5 Excitación por impacto**

Este último método se utilizan pruebas que por lo general se realizan golpes al puente con una masa que frecuentemente forma parte de un martillo para impactos, esta masa es



proporcional al volumen del puente al que se le harán los golpes, en el caso de puente de corta longitud este método es muy eficiente ya que el martillo es de un costo bajo fácil de usar y portable.

Por consiguiente, considerando los diferentes métodos de excitación anteriormente mencionados se ha determinado utilizar la “**Excitación por efectos ambientales**” debido a que el procedimiento de excitación por efectos ambientales tiene su apoyo en las acciones que directamente tiene el medio ambiente con la estructura, y este método no necesita que la circulación del puente se vea afectada y así no genera malestar al flujo vehicular y peatonal.

## 2.11 Normativas usadas para el análisis de vibraciones.

### 2.11.1 Norma Australiana. (Australia 2187.2)

En la actualidad no existe un estándar de origen australiano determinado en relación a las vibraciones de estructuras en edificaciones. Se trata de una referencia para determinar los diferentes niveles admisibles de vibración producidas por el hombre en estructuras industriales y residenciales

Tabla 2.3  
*Norma Australina (Australia 2187.2)*

<b>Criterio De Daño: Norma Australiana 2187.2-1993</b>	
	Velocidad (mm/s)
<b>Zona Industrial</b>	25
<b>Zona Residencial</b>	10
<b>Edificios históricos y edificios y monumentos de valor especial</b>	2

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.2 Norma Británica. (British Standard 7385)

La norma británica BS 7385 proporciona en su contenido los patrones de los grados de vibración referente a los cuales las estructuras y edificaciones pueden presentar daños y fallas a nivel estructural. Esta regla asemeja los elementos que median en la contestación de la vibración de las estructuras y representa las instrucciones básicas para la elaboración de las mediciones.

Tabla 2.4  
*Norma Británica (British Estándar 7385)*

<b>Criterio de daño: Norma British Standard 7385</b>		
<b>Tipo de Estructura</b>	<b>Frecuencia Principales (Hz)</b>	
	4-15	>15
<b>Edificaciones comerciales livianos y estructural residenciales livianas y/o no reforzadas</b>	4 Hz a un incremento a 15 Hz	15 Hz a incremento 40 Hz and más
<b>Edificaciones comerciales pesados y estructuras industriales reforzadas</b>	5 at 40 Hz and above	

Fuente: (Castro, 2014)

La época y circunstancias existentes de las edificaciones son integrantes por estimar en la valoración de la pasividad a la vibración. Si una edificación está en una fase muy inconsistente, se orienta a ser más vulnerable al suceso de daño germinado por una vibración excedente o alguna otra modificación divulgada por tierra

### 2.11.3 Norma Instituto Central de Investigación de Minería y Combustible. (CMRI proposed Indian Standards)

Esta regla fue esgrimida hasta antes de la ejecución de la norma DGMS India.

Tabla 2.5  
Norma CMRI

Criterio de Daño: Norma CMRI Proposed Indian Standards		
Tipo de Estructura	Frecuencias Principales (Hz)	
	<24	>24
<b>Edificaciones industriales, estructuras de acero y concreto reforzado</b>	12.5	25.5
<b>Hogares domésticos, interiores de pozos secos, estructuras de construcción con yeso, puentes</b>	5	10
<b>Objetos de importancia histórica, estructuras muy sensibles, estructuras con más de 50 años de construcción y con estado de pobre condición</b>	2	5

Fuente: (Castro, 2014)

#### 2.11.4 Norma Dirección General de Seguridad de Minas India. (DGMS India)

El razonamiento de daño fue planteado por diferentes disposiciones, entre las cuales se puede incluir la USBM, DGMS, Indian Standards, entre otras, fundamentado en los PPV autorizados en mm/s y la repetición de la vibración de suelo en diferentes ejemplares de estructuras.

Tabla 2.6  
Norma DGMS India

Criterio de Daño: Norma DGMS India			
Tipos de Estructuras	Frecuencias Principales (Hz)		
	<8	8-25	>25
<b>(A) Edificios/estructuras que no pertenecen al propietario</b>			
<b>Edificios Industriales</b>	10	20	25
<b>Hogares/estructuras domesticas</b>	5	10	15
<b>Objetos de importancia histórica y estructuras sensibles</b>	2	5	10
<b>(B) Edificios y construcciones pertenecientes al propietario con tiempo limitado de la vida</b>			
<b>Edificios Industriales</b>	15	25	50
<b>Hogares/estructuras domesticas</b>	10	15	20

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.5 Norma Alemana. (DIN4150)

Esta norma entrega pautas para vibraciones estructurales de periodos cortos y en estado estacionario.

Tabla 2.7  
*Norma Alemana (DIN4150)*

Tipos de Estructuras	Velocidad de partícula máxima en la base		
	< 10 Hz	10 – 50 Hz	50 – 100 Hz
<b>Oficinas públicas y edificios industriales</b>	10	20- 40	40- 50
<b>Hogares domésticos y edificios similares</b>	5	5 - 15	15- 20
<b>Edificio que no entran en la clasificación anterior por su sensibilidad</b>	3	3 - 8	8 - 10

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.6 Norma Indonesia. (Indonesian Standard SNI 7571)

Explora las pericias de seguridad de voladura en un trayecto inferior a 500 metros de las zonas residenciales.

Tabla 2.8  
*Norma Indonesia (SNI7571)*

Tipos de Estructuras	Velocidad de partícula máxima en la base		
	< 5 Hz	5 - 20 Hz	20 Hz
<b>Edificios industriales</b>	11	20	40
<b>Hogares y marcos de buena estructura</b>	7	11	20
<b>Hogares de mediana estructura con pendiente</b>	5	7	11
<b>Hogares de mala estructura con pendiente</b>	3	5	7
<b>Edificios históricos y sensibles</b>	2	3	5

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.7 Norma Brasileña. (Brazilian Standard NBR 9653)

Esta norma hace referencia a la técnica de seguridad de voladura en una distancia inferior a 500 metros de las zonas residenciales.

Tabla 2.9

*Norma Brasileña (NBR9653)*

<b>Frecuencias Principales (Hz)</b>	<b>4 – 15</b>	<b>15 – 40</b>	<b>&gt;40</b>
<b>Velocidades de partícula máxima (mm/s)</b>	15 – 20	20- 50	50

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.8 Norma Neozelandesa. (New Zealand Standard 4403)

Semejante que la norma realizada en Brasil, esta normativa da pautas que instaura solo un límite a partir del cual se estimulará daño en utilidad de las vibraciones.

Tabla 2.10

*Norma Neozelandesa (NZS 4403)*

<b>Frecuencias Principales (Hz)</b>	<b>1 -3</b>	<b>3 – 20</b>	<b>&gt;20</b>
<b>Velocidades de partícula máxima (mm/s)</b>	50	49 - 6	5

Fuente: (Castro, 2014)

### 2.11.9 Norma Española. (Criterio de Prevención UNE 22.381)

Esta norma se basa en el reconocimiento del desplazamiento del suelo en un área superficial generado por fuentes antrópicas, como por ejemplo voladuras, tráfico, etc. Las vibraciones procedentes por estas fuentes se identifican por su superior amplitud y su elevado contenido de frecuencia. A causa de estas características las vibraciones no se las puede almacenar o generar un registro con sismómetros convencionales y, por tanto, requieren de una instrumentación determinada.

Tabla 2.11

*Norma Española (Criterio de Prevención UNE 22.381)*

Tipos de Estructuras	Velocidad de partícula máxima en la base		
	< 15 Hz	15 – 75 Hz	>75 Hz
<b>Edificios industriales</b>	20	20 – 100	100
<b>Hogares domésticos</b>	9	9 -45	45
<b>Edificios históricos</b>	4	4- 20	20

Fuente: (Castro, 2014)

#### 2.11.10 Norma Suiza. (Swiss Standard SN 640 312a)

Esta agrupación de normas de vibración es considerablemente citada en todo el mundo. En realidad, existen tres "normas suizas" separadas: (Mining Swiss, Piling Swiss and Traffic Swiss): la Mining Swiss, que es la primera, es para tronaduras, una más inflexible, es la Piling Swiss, para la instalación de cimientos y la última que es aún más rigurosa, Traffic Swiss, aplicable a la construcción y uso de las carreteras, así como el conjunto de las otras formas de construcción.

Tabla 2.12

*Norma Suiza (Swiss Standard SN 640 312a)*

Tipos de Estructuras	Velocidad de partícula máxima en la base		
	< 30 Hz	30 – 60 Hz	>60 Hz
<b>Edificios industriales</b>	6	8	11
<b>Hogares domésticos</b>	3	4	6
<b>Edificios históricos</b>	0.5	2	3

Fuente: (Castro, 2014)

#### 2.11.11 Norma Canadiense. (Toronto 514)

Esta norma demanda el monitoreo perpetuo de vibración y asienta la vibración del terreno máxima autorizada en una zona determinada de influencia.

Tabla 2.13  
*Norma Canadiense (Toronto 514)*

<b>Frecuencias Principales (Hz)</b>	<b>&lt; 4</b>	<b>4 – 10</b>	<b>&gt;10</b>
<b>Velocidades de partícula máxima (mm/s)</b>	8	15	25

Fuente: (Castro, 2014)

#### 2.11.12 Escocia - PAN50

Desarrollada en febrero del 2000, Esta norma tiene como bases los estándares de la BSI (British Standard Institute) (Group, 2018) BS-6472 de 1992 y BS-7385 parte 1 y 2 de 1993, quienes son una multinacional cuya finalidad se basa en la creación y elaboración de normas para estandarizar procesos, las guías de planeación nacional NPPG (National Planning Policy Guidelines) 4, 14 y 16 y las PAN (Planning Advice Notes) 56 y 58.

Esta norma está orientada a los factores de impacto a las que están expuestas el medio ambiente, personas y construcciones. Entre los factores tenemos:

- Vibraciones del suelo
- Ruido
- Polvareda
- Coacción acústica (sobre-presión del aire)
- Expulsión de rocas

Los aspectos fundamentales de PAN 50 trata acerca de vibraciones producidas por voladuras son:

- Ubicación de sensores para realizar mediciones.
- Niveles de amplificación en estructuras.
- Umbrales y daños de viviendas producidas por vibraciones.
- Consecuencias geológicas en las vibraciones inducidas por voladuras, tráfico, intervención mecánica.

Tabla 2.14  
*Rango de frecuencia en relación con tipos de daños.*

Tipo de daño	Características	Valores Indicativos
<b>Cosmético</b>	Formación de grietas finas, crecimiento en grietas existentes en estuco, paredes delgadas o mortero	< 4 Hz
<b>Menor</b>	Formación de grietas largas, pérdida o caída de superficies de estuco, grietas en bloque de concreto y ladrillo	4 – 15 Hz
<b>Estructural</b>	Daño en elementos estructurales	> 15 Hz

Fuente: (Group, 2018)

## 2.12 Arduino

Arduino es una herramienta de código abierto basada en una placa de microcontrolador simple y un entorno de desarrollo para escribir software en lenguaje de programación C o C ++.

Se trata de un microcontrolador de un solo chip que proviene de una compañía llamada Atmel. El chip se conoce como AVR, se ejecuta a solo 16 MHz con un núcleo de 8 bits y tiene una cantidad muy limitada de memoria, con 32 kilobytes de almacenamiento y 2 kilobytes de memoria de acceso aleatorio. La configuración de Arduino en torno al



microprocesador Atmel hace que sea fácil y popular de usar en todos los diferentes tipos de proyectos.

### **2.12.1 Tipos de Arduinos**

Arduino cuenta con diferentes tipos de placas, cada una ofrece distintas características propias de cada tarjeta, que va a depender de la aplicación para la cual va a ser programada. Lo que las diferencian son la cantidad de entradas analógicas y digitales que poseen, módulos de comunicación, memoria, procesador, etc. Aquí podemos mencionar algunas de ellas:

- Arduino Uno
- Arduino Leonardo
- Arduino Mega
- Arduino Ethernet
- Arduino Due
- Arduino Micro
- Arduino Mini
- Arduino Nano
- Arduino Lilypad

### **2.12.3 Arduino Uno R3**

El Arduino Uno R3 es el sucesor de su hermano Arduino R2. Entre sus diferencias más destacables tenemos: el Uno R3 usa un microcontrolador USB ATmega16U2 en lugar del 8U2 que se encuentra en el Uno R2 (o el FTDI encontrado en las generaciones anteriores). Esto permite velocidades de transferencia más rápidas y más memoria.

El Uno R3 también agrega pines SDA y SCL junto al AREF. Además, hay dos nuevos pines colocados cerca del pin RESET, uno es el IOREF que permite que los blindajes se adapten al voltaje provisto desde la placa y el otro está reservado para propósitos futuros.

El Arduino Uno tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 pueden usarse como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.



*Figura 2.7* Arduino Uno R3  
Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

### **2.13 Módulo de vibración SW-420**

El módulo de vibración SW-420 viene con una placa de ruptura que incluye comparador LM 393 y un potenciómetro a bordo ajustable para la selección del umbral de sensibilidad y un LED de indicación de señal.

Este módulo sensor produce estados lógicos que dependen de la vibración y la fuerza externa aplicada. Cuando no hay vibración, este módulo proporciona una salida lógica

BAJA. Cuando se siente la vibración, la salida de este módulo va a la lógica ALTA. La polarización de trabajo de este circuito es entre 3.3V a 5V DC.

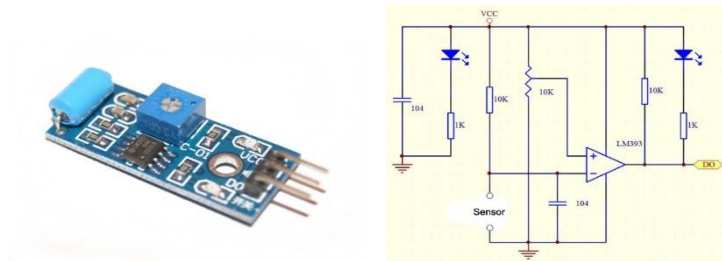


Figura 2.8. Diagrama sensor de Vibración  
Fuente: Autores.

## 2.14 XBee

El módulo para comunicación inalámbrica XBee está basado en el protocolo Zigbee, el cual puede transferir información entre diferentes dispositivos. La comunicación serie entre un emisor y un receptor puede llegar hasta una distancia de 100 metros al aire libre sin ningún obstáculo. Pero también se consideran otros factores, como la potencia de transmisión y tipo de antena. En lugares cerrados, la distancia puede ser reducida hasta 30 metros.

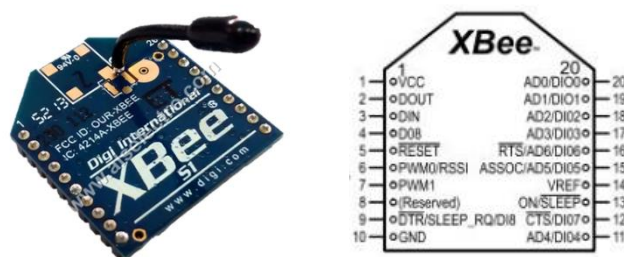


Figura 2.9 Módulo Xbee

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee/>

## **2.15 Arduino Shields**

Los Shields son tableros que pueden apilarse sobre la placa de circuito Arduino y ampliar sus capacidades. Los diferentes shields siguen la misma filosofía que el kit de herramientas original, son fáciles de montar Arduino Shields está diseñado para mejorar la versatilidad. Casi todos los modelos de Arduino son compatibles con los escudos diseñados para ello. Los shields no solo mejoran Arduino dándole más sensores o circuitos conectados. También contienen bibliotecas de códigos hechas para el uso específico del shields.

La razón más común para adquirir shields para Arduino es que el proyecto requiere más dispositivos de entrada o salida, que el monto del puerto predeterminado no puede proporcionar. Después de que la comunidad ha comenzado a desarrollar diferentes escudos por sí mismos, los fabricantes de Arduino han comenzado a incrustar shields directamente en las placas de circuitos Arduino. Fácil de instalar y quitar el shields le da la oportunidad de usar Arduino en todo tipo de proyectos diferentes.

## **2.16 Phyton**

Python es un lenguaje para computadoras o un lenguaje de programación con un nivel superior, comparado con su tiempo de ejecución. El transcurso del desarrollo de la ejecución de un programa en Python es igual a cualquier otro lenguaje de programación ya que al iniciar se compilan las líneas de comando o las instrucciones de alto nivel a lenguaje de ensamblador dicho código que el programador desarrolla en el IDE.

Entre los diferentes enfoques que podemos tener en Python es que su programación puede ser dirigida a objetos, como una programación funcional y una programación

autoritaria. La naturaleza de código abierto y la capacidad de Python para ejecutarse en casi cualquier computadora son dos razones para favorecerla en comparación con otros lenguajes que pueden ser exclusivos o que solo se ejecutan en algunos tipos de computadoras.

Python funciona bien con otros idiomas. Los programas de Python se pueden extender usando C, C ++ o Java, o se pueden incrustar en programas escritos en estos idiomas.

### **Características Principales**

- Multiplataforma
- Funcionamiento tanto para sistemas operativos como Windows, Linux y Mac Os
- Lenguaje de Programación orientada a objetos
- Sintaxis y expresiones en su lenguaje de programación es sencillo
- Posee una vasta biblioteca
- Por su funcionabilidad resulta la más óptima para llevar a cabo programaciones experimentales.

#### **2.16.1 Ventajas de Python:**

- Portabilidad Python se encuentra presente en una amplia gama de plataformas de hardware y software. Esto incluye: Sun, Intel, IBM, variantes de Microsoft Windows, variantes de Macintosh OS y todos los Unices, así como también plataformas menos conocidas, incluidos PDA y decodificadores.
- Poderosa simplicidad Los programas de Python son más fáciles de mantener. La sintaxis simple y limpia no solo permite a los desarrolladores originales recordar lo que hicieron, sino que también permite a otros desarrolladores comprender y

cambiar programas. Esto permite costos de mantenimiento mucho más bajos para los programas de Python.

- Una extensa biblioteca de funciones. Python usa componentes pequeños y bien diseñados, llamados módulos. Los módulos son muy fáciles de diseñar y usar, lo que fomenta las bibliotecas de códigos formales e informales.
- Software libre / de código abierto (FOSS) Python como todo software FOSS tiene tres libertades: se puede usar libremente, sin pagar tarifas de licencia exorbitantes. Asegura el libre desarrollo de aplicaciones de software sin restricciones de proveedores impuestas artificialmente. Garantiza un mercado de software libre, eliminando la dependencia de la empresa de cualquier proveedor de software, grande o pequeño.

## **2.17 JAVA**

Java es un lenguaje de programación multipropósitos, orientado a objetos, concurrente, desarrollado por Sun Microsystems y actualmente pertenece a Oracle Corp. Java se caracteriza por ser un lenguaje utilizable para cualquier sistema operativo, ya sea Linux, Windows, Apple, entre otros.

Su estructura o sintaxis está basada en lenguajes de programación como C y C++, sin embargo, tiene un modelo de objetos más sencillo y menos utilidades de bajo nivel.

### **2.17.1 Características de JAVA**

- Orientado a objetos
- Es muy flexible
- Es Multiplataforma

- No requiere de inversiones económicas
- Es de fuente abierta
- Es un lenguaje expandible

Una de las razones que hacen a Java atractivas para internet es su independencia de plataformas, ya que los usuarios pueden tener a acceso desde sus diferentes dispositivos, sin presentar inconvenientes en la ejecución de sus funciones.

### **2.17 SQLite**

SQLite es un administrador de base de datos, de código abierto de alta fidelidad para la elaboración y diseño de base de datos.

En si SQLite es una biblioteca de software que utiliza como motor una base de datos transaccional de SQL autónomo, no tiene necesidad de servidor. Generando así una base de datos ligera que a ser de código abierto nos permite la compatibilidad con diferentes softwares que tengan la capacidad de relacionarse con sus funcionalidades.

SQLite en su versión numero 3 nos ofrece y permite una base de datos capaz de alcanzar hasta los 2 terabytes de información almacenada. (Vogel, 2017)

### **2.18 Processing**

Al igual que los demás programas y software descrito processing también es un lenguaje de código libre o abierto para desarrollar programas en computadoras que se utiliza para la comunicación entre la computadora y el Arduino.

En este caso sirve para mostrar y almacenar datos recopilados por el Arduino uno, como ejemplo de Processing es `analogWrite(pin)`: el cual devuelve el valor de una entrada analógica de (0 a 1023).

## **2.19 Arduino IDE**

Arduino IDE es un medio de programación que permite al usuario redactar diferentes tipos de programas y cargarlos en el microcontrolador Arduino. Arduino usa un lenguaje de programación sencillo, que se basa en un lenguaje de programación llamado Processing que es un lenguaje de programación de desarrollo compuesto de código abierto basado en Java.

Después de que el usuario haya escrito su código, IDE compila y traduce el código al lenguaje ensamblador. Después de traducir el código, el IDE carga el programa al microcontrolador Arduino. Arduino IDE tiene un analizador de código incorporado que verificará el código escrito por el usuario antes de enviarlo al Arduino. El software IDE incluye el conjunto de diferentes tipos de programas que están listos para ser probados en el dispositivo. Después de probar el programa, puede cargarse en el Arduino mediante un cable USB que varía según los diferentes modelos.

## **2.20 MATLAB**

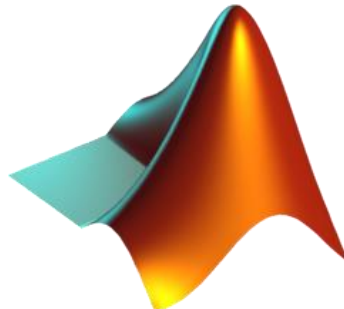
MATLAB es un lenguaje de programación de alto servicio diseñado para realizar cálculos experimentados. MATLAB constituye el cálculo, la visualización y la sistematización en un ambiente factible de utilizar donde los problemas y las soluciones se enuncian en un alfabeto matemática. (Esqueda Elizondo, 2002)



MATLAB “MATrix LABoraty” es un software matemático que cuenta con un lenguaje de programación propio (\*.m) y ofrece a sus diseñadores un entorno de desarrollo integrado IDE para mejorar la experiencia en el desarrollo de un programa. Está disponible para la mayoría de plataformas como son Windows, Unix y Apple Mac OS X.

Las principales aplicaciones de MatLab son:

- Cálculos matemáticos
- Elaboración de algoritmos
- Estudio de datos, exploración y visualización
- Representación de datos científicos de ingeniería



*Figura 2.10* MatLab  
Fuente: <http://www.mathworks.com>

## 2.21 Visual Studio code

VS Code es un actual y moderno tipo de herramienta que concierta la simplicidad de un editor de código con lo que los programadores requieren para su ciclo central de edición-compilación-depuración. Anunciado y lanzado en el año 2015 como un Open-

source software, Visual studio code facilita un soporte completo de edición y depuración, un modelo de extensibilidad e igualdad sutil con herramientas existentes.

Visual Studio Code se actualiza mes a mes con nuevas y diferentes funciones y correcciones de errores. Puede descargarlo para distintos sistemas operativos como Windows, macOS y Linux en el sitio web de Visual Studio Code.

En relación con el proyecto se usó este desarrollador de código libre, ya que la programación hecha en python es compatible con VS code, dichos datos se almacenan en la base de datos creada y así poder analizar la información tomada por la red de sensores inalámbrica.

## **2.22 Protocolos de comunicación inalámbrica del Grupo 802.15.x.x**

El comité IEEE 802 hace referencia a un grupo de estudio perteneciente al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos que opera sobre las redes MAN y LAN. Fue creada con el objetivo de establecer un sistema de interconexión de comunicación inalámbrica entre los distintos fabricantes del mercado para que puedan operar e integrarse sin presentar inconvenientes.

IEEE 802.15 desarrolla estándares para redes WPAN (Wireless Personal Area Network), también conocidas como redes de corta distancia. Permite la comunicación entre dispositivos portátiles. Dentro de las redes WPAN tenemos los siguientes estándares:

- IEEE 802.15.1 o Bluetooth
- IEEE 802.15.2 o Coexistencia
- IEEE 802.15.3 – High Rate Wireless Personal Networks (HR-WPAN)
- IEEE 802.15.4 o ZigBee

### 2.22.1 IEEE 802.15.1 Bluetooth

Bluetooth forma parte del estándar IEEE 802.15.1, admite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos. En principio fue diseñado para comunicaciones omnidireccionales con un bajo consumo de energía, corto alcance supliendo el uso de conectores físicos. Actualmente se están desarrollando nuevas prestaciones para esta tecnología y así darle más aplicaciones.

Opera bajo la banda libre de 2.4 GHz comenzando en 2.402 GHz y acabando en 2.4835 GHz con canales 79 RF canales. Los enlaces pueden tener una distancia que varía desde 1m hasta los 10m dependiendo del tipo de potencia de transmisión. Según la potencia de transmisión se clasifican en: Clase 1, Clase 2 y Clase 3

Tabla 2.15  
*Tipos de Bluetooth por su potencia de transmisión*

<b>Clase</b>	<b>Potencia máxima permitida (dBm)</b>	<b>Potencia máxima permitida (mW)</b>	<b>Distancia de enlace (m)</b>
<b>Clase 1</b>	20	100	30
<b>Clase 2</b>	4	2.5	5-10
<b>Clase 3</b>	0	1	1

### **2.22.2 IEEE 802.15.2 Coexistencia**

Estudia los posibles problemas originados por la coexistencia de redes WPANs con otros dispositivos inalámbricos que operen con las bandas de frecuencia abiertas no reguladas, como son las redes WLAN.

### **2.22.3 IEEE 802.15.3 High Rate Wireless Personal Networks (HR-WPAN)**

Este estándar inicio de la necesidad de crear redes WPAN poco complejos con capacidad de transmitir datos de manera rápida y eficiente, siendo de una implementación económica, así como también su operación.

Otra característica que pueda garantizar que sea un estándar eficiente y rápido es que los protocolos, paquetes, formato de tramas y modulación no sean complejos. La red formada con este estándar tiene particularidades que la hacen segura ya que cuenta con encriptación compartida de información basada en el estándar Advanced Encryption Standard.

### **2.22.4 IEEE 802.15.4 ZigBee**

El estándar IEEE 802.15.4 trata acerca de las necesidades de los sistemas de una tasa de transmisión baja en el rango de 20 a 250 kbps en distancias de 10 a 75 m con un bajo consumo de energía.

ZigBee adoptó las especificaciones producidas por este comité definiendo de esta forma una solución inalámbrica con poco uso de recursos energéticos de una reducida capacidad de datos para aplicaciones de uso familiar como seguridad y automatización.

El estándar Zigbee opera en las bandas sin licencias también conocidas como ISM, precisamente en la banda abierta europea 868MHz, norteamericana 915MHz y en la banda abierta mundial de 2.4GHz.

#### **2.22.4.1 Topologías de red soportadas por ZigBee:**

- Punto a punto.
- Estrella.
- Malla
- Árbol

#### **2.23 Redes inalámbricas.**

Se denomina comunicación inalámbrica a aquella que se dirige sin la utilización de cables de conexión entre el transmisor y el receptor.

Las WN o Wireless Network entran en esta denominación ya que las tecnologías desarrolladas en base a estas WN hacen que sea posible la comunicación inalámbrica, como por ejemplo Bluetooth, Home RF, wifi, HiperLan, Wimax, etc.

##### **2.23.1 Tipos de redes inalámbricas según su rango de cobertura**

Según la cobertura que puede tener una red inalámbrica podemos encontrar la WBAN que va desde 1 metro hasta la WWAN que es de cobertura mundial.

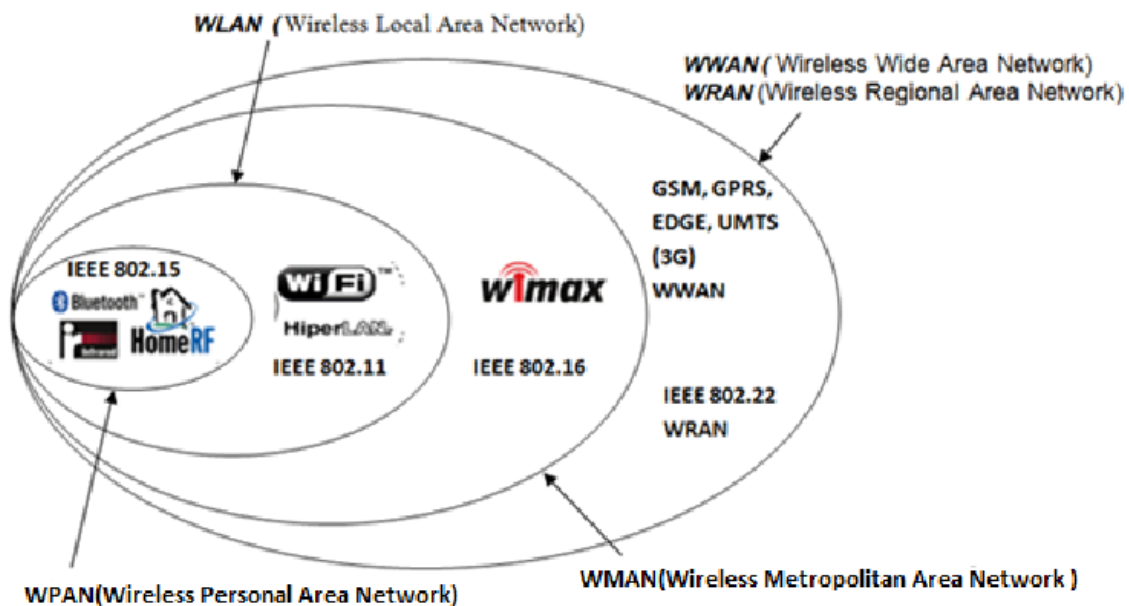


Figura 2.11 Cobertura redes inalámbricas

Fuente: <https://sites.google.com/site/redesinalambricas3/tipos-de-redes-inalambricas>

- **WBAN (Wireless Body Area Network)**

Una WBAN o red inalámbrica de área corporal son aquellas que llegan a cubrir una distancia de 1 o 2 metros.

- **WPAN (Wireless Personal Area Network)**

Una WPAN o red de área personal es aquella que cubre distancias no mayores a los 10 metros, utilizadas en tecnología bluetooth.

- **WLAN (Wireless Local Area Network)**

Una WLAN o red de área local es aquella red que cubre una distancia mayor a una WPAN alrededor de unos cien metros.

- **WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)**

Una WMAN o una red de área metropolitana se considera que podrían llegar a cubrir el área de una ciudad.

- **WWAN (Wireless Wide Area Network)**

Una WWAN o una red inalámbrica de área extensa o como de área global pueden llegar a tener una cobertura para todo un país o región.

### **2.23.2 Ventajas de las Redes inalámbricas**

El uso de este tipo de redes genera y contribuyen una gran gama de ventajas que generan una atención mayor para los usuarios y el ambiente mercantil, entre las cuales tenemos: (Guaña Moya, 2016)

- **Instalación sencilla**

Para este tipo de redes no se necesita efectuar algún tipo de obra menor o mayor como la instalación de canaletas o tuberías para el envío de la información.

- **Movilidad**

Con este tipo de redes podemos obtener un acceso a la información desde cualquier punto o zona que la red tenga cobertura.

- **Escalabilidad**

Denominada de esta manera ya que nos otorga una facilidad para esparcir y ajustar el tamaño de la red a la necesidad que se presente.

- **Uso del espectro libre**

En su mayoría las redes inalámbricas trabajan en frecuencias con rangos de uso libre, es decir no están sujetas a un pago por licencia de frecuencia.

- **Alta tasa de Transmisión**

En la Actualidad estas redes alcanzan hasta 54 Mbps en su tasa de trasmisión.

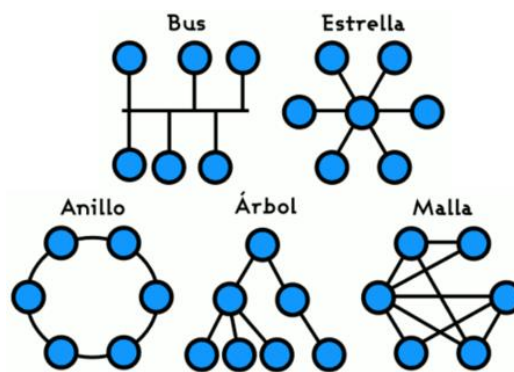
- **Salud**

No simboliza un problema para la salud de las personas ya que su rango no sobre pasa los  $10\text{W/m}^2$  de potencia admisible.

## 2.24 Topología de las Redes inalámbricas

Una red de comunicación está conformada por nodos, cada uno de los cuales tiene potencia de cálculo y puede transmitir y recibir mensajes a través de enlaces de comunicaciones, inalámbricos o por cable. Por lo tanto, es importante describir cómo los elementos o nodos de una red se distribuyen físicamente. (Universidad De Valencia)

Dependiendo de la calidad de servicio (QoS), el entorno de instalación, las consideraciones económicas y la aplicación, se puede usar una de las varias topologías de red básicas. Las topologías de red básicas se muestran en la siguiente figura.



*Figura 2.12 Tipos de Topologías*

Fuente: <http://adbloggers.blogspot.com/2017/10/topologias-de-redes.html>

- **Topología en estrella**

En una topología que todos los equipos están conectados a un punto central.

Este punto central generalmente se llama nodo central.

- **Topología en malla**

En una topología tipo malla los equipos tienen una interconexión que consta de muchos puntos de accesos la cual permite el intercambio de información.



- **Topología en árbol**

En esta topología los distintos nodos tienen una conexión a una backbone que posee una combinación entre topología estrella y topología tipo bus con sus configuraciones correspondientes.

- **Topología de bus**

En la topología Bus, la red consta de un solo cable largo al que se conectan las computadoras. Cada equipo conectado al bus puede enviar una señal y todos los demás equipos reciben la señal.

- **Topología en anillo**

En una topología de anillo, los equipos están conectados en un circuito cerrado. Existe una conexión entre el primer equipo y el segundo equipo, mientras que otra conecta el segundo al tercero, y así hasta que se se conecte al primer equipo.

## **2.25 Red de sensores inalámbricos (WSN)**

Una WSN o una red de sensores inalámbricos es una red de tipo inalámbrica contiene una gran cantidad de dispositivos móviles, auto dirigidos, pequeños y de baja potencia llamados nodos de sensores. Estas redes ciertamente cubren una gran cantidad de dispositivos embebidos distribuidos espacialmente, diminutos, que están conectados en red para recopilar, procesar y transportar la información o datos a los operadores, y ha controlado las capacidades de los equipos de computación y procesamiento. Los nodos son las computadoras pequeñas, que trabajan conjuntamente para formar las redes.

Las WSN se crearon o plantearon inicialmente para hacer más sencillas las operaciones militares, pero su aplicación se ha ampliado desde entonces al sector de la salud, el análisis de tráfico y muchas otras áreas de consumo e industriales. Una red de sensores inalámbricas consta de uno, cientos o miles de nodos de sensores. El equipo del nodo sensor contiene un transceiver de radio junto con una antena, un microcontrolador, un circuito electrónico de interfaz y una fuente de energía, habitualmente una batería. La dimensión de los nodos del sensor también se puede modificar de tamaño. (José G. & Alfredo, 2012)

El nodo del sensor es un dispositivo inalámbrico multifuncional y de bajo consumo. Una recopilación de nodos sensores almacena los datos de los entornos para lograr objetivos de aplicación específicos. El envío de la información entre los nodos se puede realizar entre sí utilizando transceptores.

#### **2.25.1 Características red de sensores inalámbricos (WSN)**

En la actualidad y con el avance de la tecnología se han desarrollado sensores con un costo muy bajo, con un tamaño disminuido y un bajo consumo de energía y con disponibilidad de comunicarse inalámbricamente. Estas WSN poseen entre sus características que tienen la capacidad de manejar fallas en los nodos ya que poseen gran escalabilidad y amplia distribución.

Entre las principales características que posee una WSN se tiene: que sus topologías son adaptables; no tienen necesidad de alguna infraestructura; posee la capacidad de tolerar fallo; poseen un tamaño reducido.

### **2.25.2 Ventajas y desventajas de una red de sensores inalámbricos (WSN)**

Realizar una red de sensores inalámbrico nos conlleva a poseer una gran ventaja ya que ahorramos costos en la infraestructura ya que no debemos generar gastos en un cableado y mantenimiento de los mismo, debido a su adaptabilidad puede ser usado en diferentes zonas rurales y urbanas, como también en zonas montañosas, en el mar o bosques.

En torno a sus desventajas se puede contemplar que dichas redes necesitan con respecto a su consumo de energía una alimentación que abastezca ya que el consumo depende del tipo de configuración que tengamos.

### **2.26 Elementos y dispositivos que componen una WSN**

Los elementos que componen una red de sensores inalámbricos o WSN son:

- **Sensores**

Estos equipos son los que transforman la información en señales que después pueden ser analizadas o almacenadas.

- **Nodos**

Conformada por equipos para la transmisión de la información recolectada por los sensores a la base.

- **Gateway**

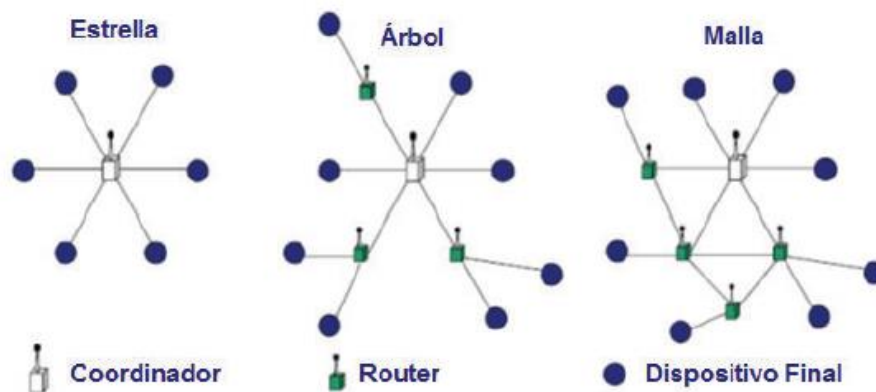
Es una puerta de enlace cuya función es que interconectar la red de datos con la red de sensores.

- **Base**

Se basa en un receptor o una estación base cuya función es de recolectar y almacenar los datos.

## 2.27 Topologías de redes de sensores inalámbricas (WSN)

Para una red de sensores inalámbricas WSN existen topologías que pueden ser usadas para la comunicación por radio, las cuales se detallan a continuación: (Saigua Carvajal & Villafuerte Haro, 2014)

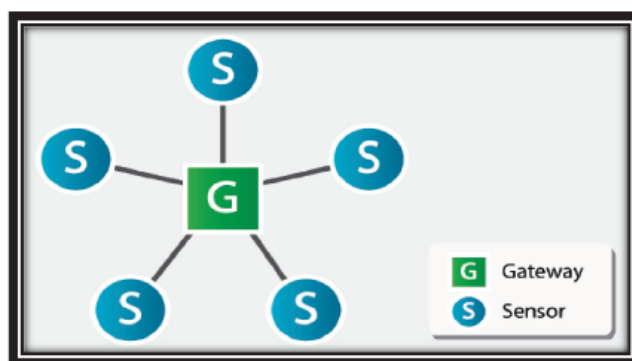


*Figura 2.13 Topologías WSN*  
*Fuente: Autores*

- **Topología en estrella**

En esta topología de comunicación cada nodo sensor se conecta directamente al Gateway, entre sus ventajas tenemos que es una red sencilla, equidad en el gasto de energía y poca latencia.

Sus desventajas es que puede generar colisiones y no siempre puede ser usada.



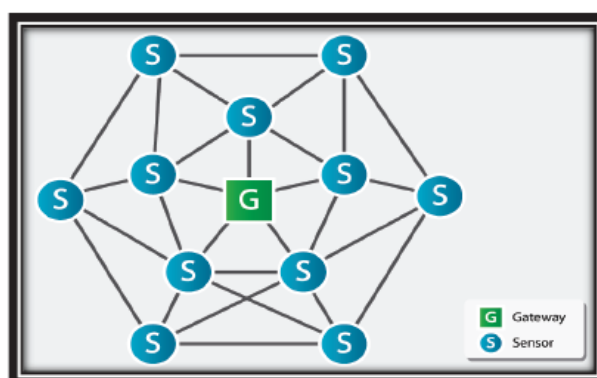
*Figura 2.14 Topología en Estrella*

Fuente: [https://www.gta.ufrj.br/grad/10\\_1/zigbee/topologias.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/topologias.html)

- **Topología en malla**

Esta topología nos permite la comunicación de datos de un nodo a otro, que se encuentre dentro de su mismo rango de transmisión, buscando siempre el camino más confiable, entre sus ventajas es que posee un costo bajo, no necesita muchos Gateway para obtener una gran escalabilidad, en caso de que exista un fallo puede obtener rutas alternas.

Entre sus desventajas es que posee alta latencia y una complejidad del sistema.



*Figura 2.15 Topología en malla*

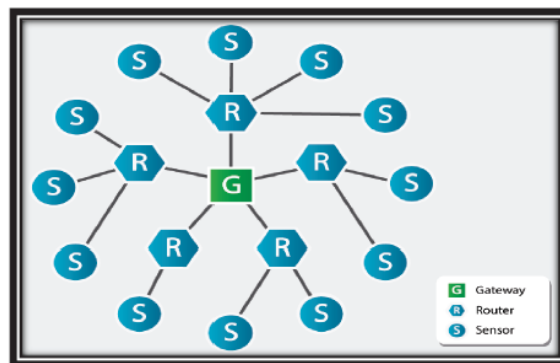
Fuente: [https://www.gta.ufrj.br/grad/10\\_1/zigbee/topologias.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/topologias.html)

- **Topología de árbol**

Para esta topología cada nodo se coloca buscando una mayor jerarquía o sea que cada miembro busca un nodo coordinador así progresivamente hasta poder llegar de manera óptima a una Gateway.

Sus principales ventajas son su alta escalabilidad y su baja proporción a las colisiones.

Entre sus desventajas es que puede llegar a ser muy costosa si se introducen routers.



*Figura 2.16 Topología en árbol*

Fuente: [https://www.gta.ufrj.br/grad/10\\_1/zigbee/topologias.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/topologias.html)

## **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se exhiben los aspectos metodológicos de la investigación y la propuesta de solución que se plantea para los problemas que se describen anteriormente.

### **3.1 Metodología de la investigación**

Para la elaboración de este proyecto de titulación se usaron diferentes metodologías convenientes al problema planteado, los que se puntualizan a continuación.

#### **3.1.1 Investigación Bibliográfica-Documental**

Para poder elaborar la propuesta del proyecto se tomaron fuentes de referencias como libros, publicaciones científicas y proyectos de titulación relacionados.

Todas las fuentes consultadas son confiables y fiables, pero pese a eso cada idea y conjeturas tomadas fueron confirmadas.

#### **3.1.2 Investigación de Campo**

Se realizó el estudio del lugar, utilizando para estos los módulos de vibración SW-420 los cuales captaron dichas vibraciones generada por la estructura, logrando la extracción de los datos y la información clara de la estructura.

Luego de almacenar esta información en una base de datos en SQLite, podemos normalizar la señal y filtrar los datos consiguiendo así cumplir todos los objetivos propuestos.

### **3.1.4 La entrevista**

La entrevista es una técnica que consiste en el diálogo entre dos personas, el entrevistado y entrevistador, esto se hace con el fin de poder obtener la información de parte del consultado, dicho entrevistado debe ser una persona que conoce el estado de la estructura.

### **3.2 Procesamiento y Análisis de datos**

Para el método de procesamiento y análisis de datos adquiridos se consideró los siguientes aspectos:

- Obtención de datos
- Análisis de los datos obtenidos, para sistematizar el conocimiento de la estructura examinada.

### **3.3 Recolección de información**

Para el presente proyecto de titulación se reunió información de libros, papers, artículos y revistas científicos, artículos académicos, así como de proyectos investigativos relacionados y la guía del tutor para el desarrollo del proyecto.

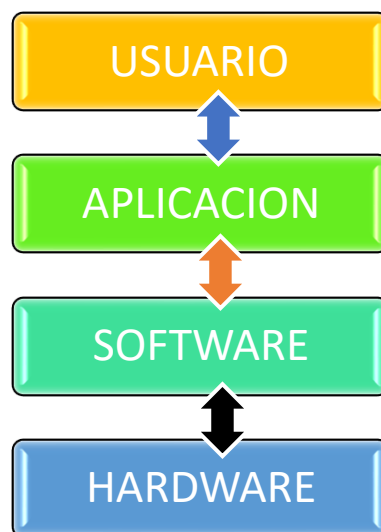
### **3.4 Propuesta de Solución**

La propuesta de solución para el proyecto de titulación denominado “Diseño e implementación de un prototipo de análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab” se basa en el uso de hardware compatibles con el criterio de delineación que faciliten la óptima selección de la instrumentación, con la finalidad de poder escoger los equipos que permitan mayores



beneficios, los cuales con el conocimiento de sus características técnicas presenten favorables resultados, estos componentes deberán tener un preciso funcionamiento dentro de la red con el respectivo estándar a utilizar para la creación de esta, ya que esta permitirá realizar la comunicación inalámbrica entre los dispositivos.

Dentro del software a utilizar para el análisis es preciso establecer aquellos que generen ventajas al usuario, como su eficiencia ya que no debe desatender los recursos del sistema, la confiabilidad, adaptabilidad, flexibilidad, su capacidad de crecer y de ser escalable y la compatibilidad con el hardware que se va a utilizar, este generará el desarrollo de una interfaz gráfica para el usuario con la finalidad de visualizar los datos adquiridos a través del prototipo de una forma más amigable.



*Figura 3.1. Componentes Propuesta de solución*  
Fuente: Autores.

### **3.5 Elaboración de la Red**

La elaboración de la red para el prototipo de análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab, se ha

implementado con diferentes dispositivos y módulos que son compatibles entre sí, los cuales serán mencionados y detallados a continuación:

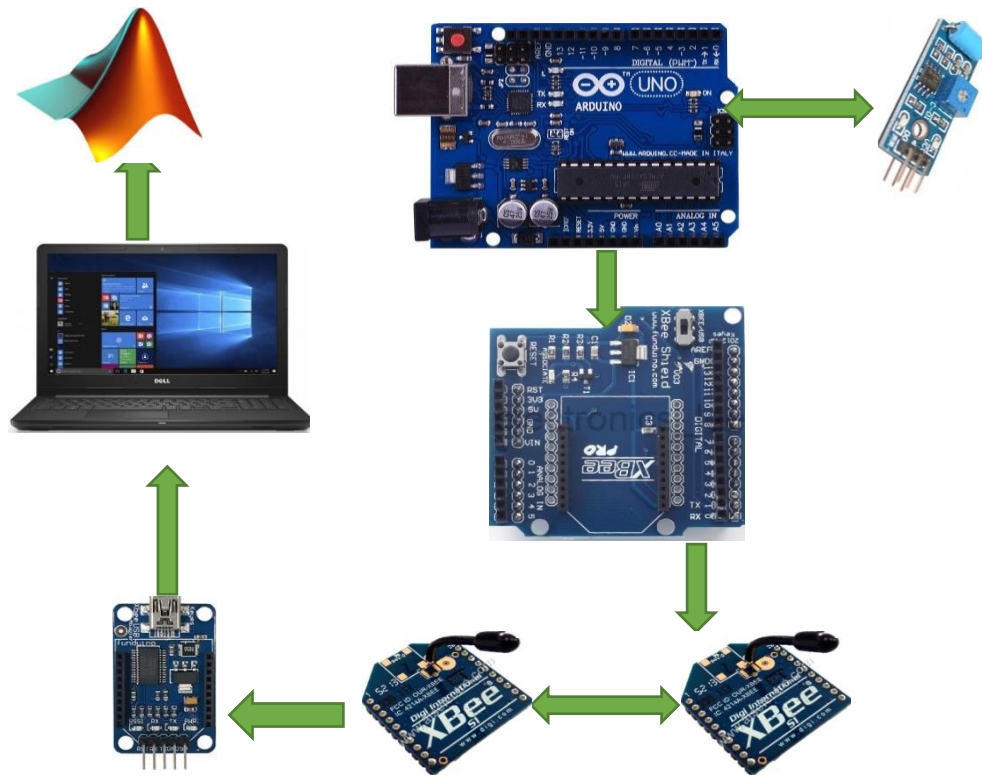
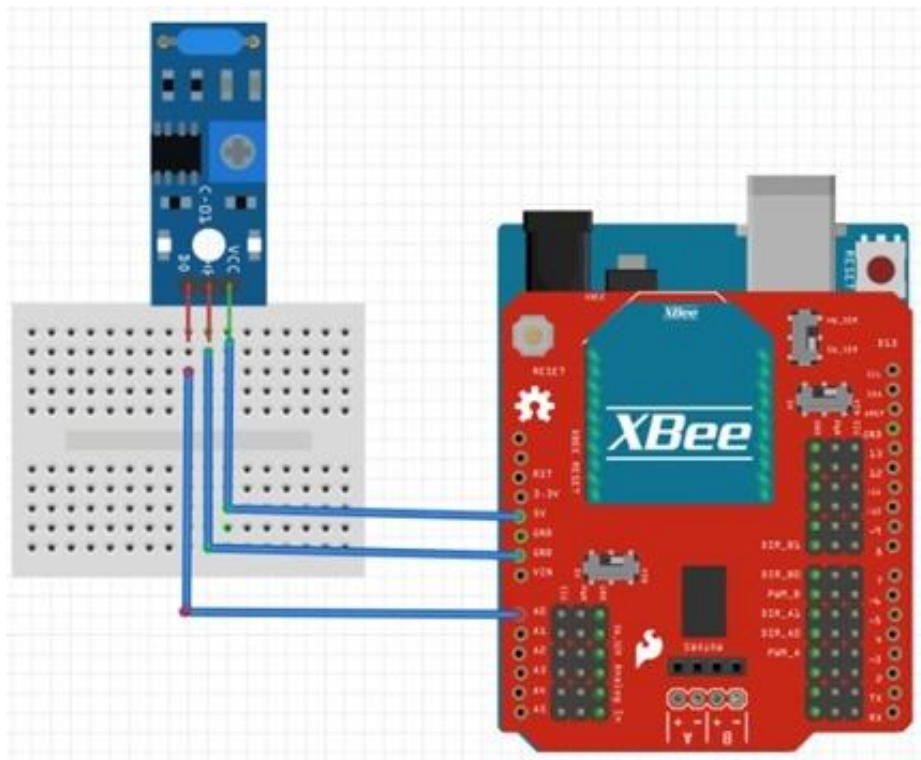


Figura 3.2 Diagrama de bloques físico del prototipo

La estructura es sometida a las vibraciones producidas por el tráfico vehicular que circula sobre ella, las vibraciones son captadas por los sensores de vibración SW-420 que convierte las vibraciones en señales de voltaje que son recibidas y procesadas por el equipo Arduino. Los datos medidos son enviados de forma inalámbrica por medio de equipos XBee S1. Se utiliza un Shield XBee para montar el transmisor directamente sobre el Arduino y así como también se utilizaron para los equipos receptores un USB Explorer en donde la información es transferida por cable USB al puerto serie del computador.

Esta información es almacenada en una base de datos en python y sqlite. Posteriormente la base de datos es exportada a Matlab donde se procede a el análisis de la información.



*Figura 3.3* Diagrama de conexión

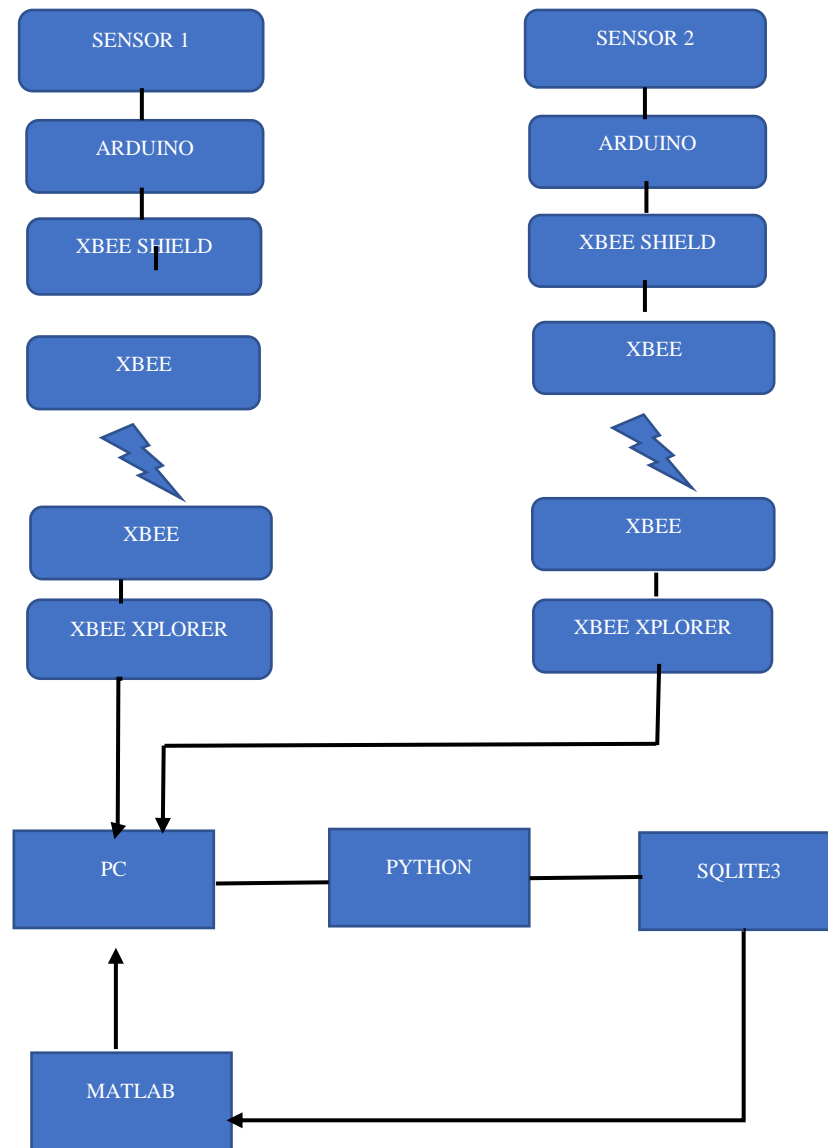


Figura 3.4 Diagrama esquemático general del proyecto

### 3.6 Diagrama de flujo Programa Arduino

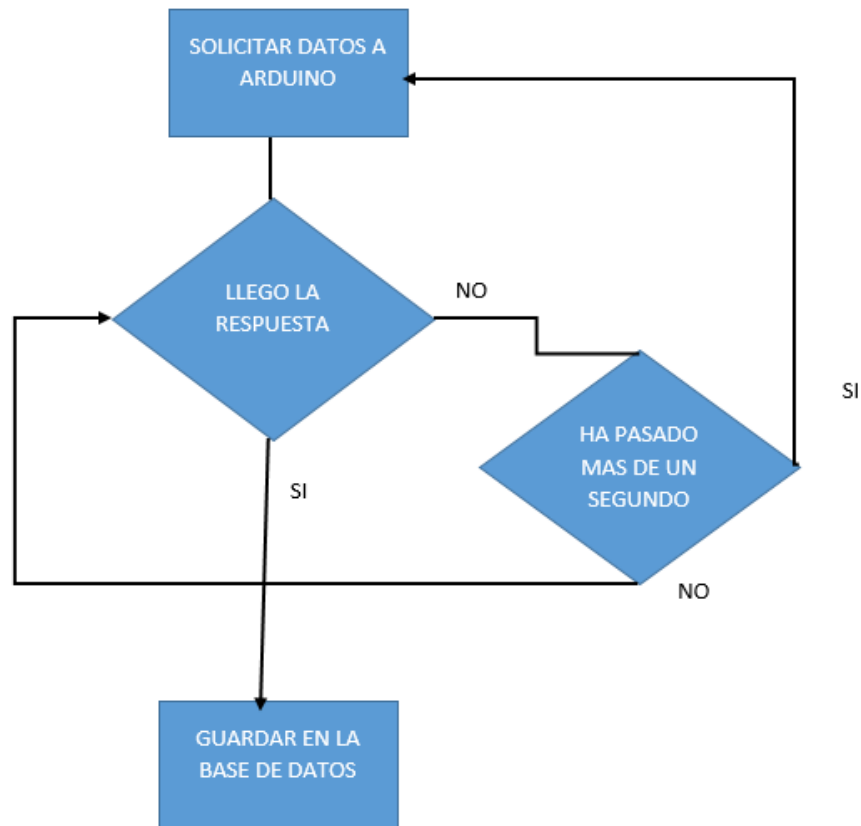


Figura 3.5 Diagrama de flujo Programa Arduino

El Arduino es el encargado de recibir por el puerto serie las señales enviadas por los módulos de vibración sw420 y es el encargado de la puesta en marcha del sistema, encargado de inicializar, recibir y enviar datos a los dispositivos conectados.

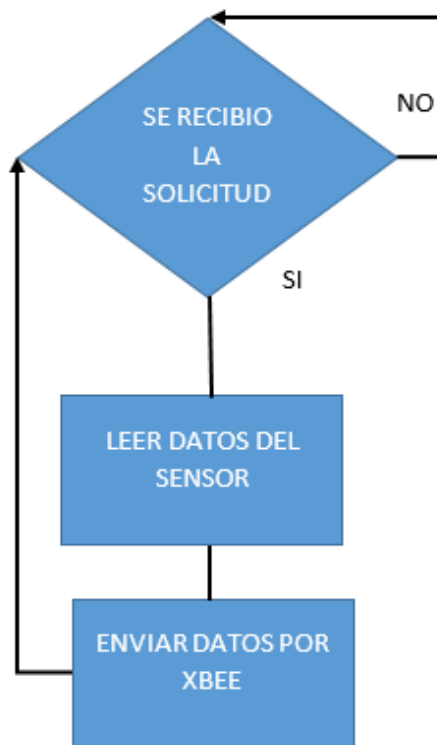
El algoritmo está compuesto por tres partes diferenciadas:

Inicialización: en esta sección se inicializarán y habilitarán los puertos para la adquisición de datos, se pondrán en marcha los módulos de vibración con los XBee conectados.

Adquisición de datos: en este apartado se reciben los datos provenientes de los sensores, para su posterior visualización en tiempo real.

Comunicación inalámbrica: Comunicación con el módulo Xbee. Transmisión de datos para su posterior almacenamiento en la base de datos.

### 3.7 Diagrama de bloques Base de Datos Python



*Figura 3.6* Diagrama de flujo Base de Datos Python

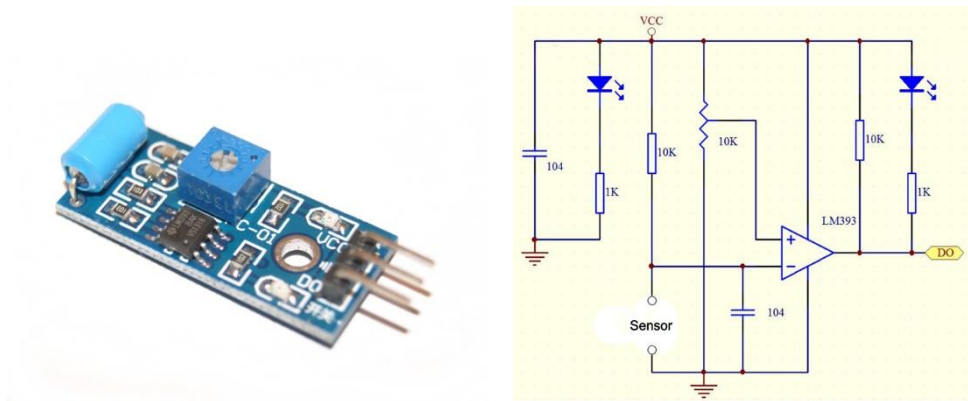
La base de datos tiene una interpretación sencilla, por medio de la ejecución del comando `realtimeplot` en Python ella inicia la adquisición de datos de los puertos seriales asignados; dichos puertos reciben la información enviada por los sensores de vibración y luego recibida vía inalámbrica y almacenada en la base de datos.

Una vez que solicita la información enviada por los Arduino, la base de datos analiza si la respuesta llega con éxito si es el caso es almacenada en la base de datos.

Caso contrario vuelve a realizar una solicitud, después de un tiempo determinado que no tuvo respuesta, vuelve a preguntar hasta que la confirmación sea positiva para su almacenamiento en la base de datos.

### 3.8 Modulo de Vibración SW-420

El sensor utilizado para la detección de las vibraciones es el sensor SW-420 las series SW que son los encargados de recolectar los datos, son tipo muelle, sin interruptor de gatillo del sensor de vibración direccional, cualquier ángulo puede dispararse. Consta de 3 pines para conexión.



*Figura 3.7.* Diagrama sensor de Vibración  
Fuente: Autores.

Tabla 3.1  
*Características eléctricas del sensor de vibración*

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	VALORES
Sensor	SW 420
Salida	Analógica – Digital
Comparador	LM 393
Alimentación	3.3 – 5 V

Tabla 3.2  
*Características mecánicas del sensor de vibración*

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	VALORES
RANGO DE TEMPERATURA	Almacenamiento: -40° C a 80° C
	Funcionamiento: -40° C a 80° C
Fuerza de tracción del terminal	500gf por 1 minuto
Humedad	95% HR, 40° C durante 96 horas
Vida útil de funcionamiento	100.000 ciclos

### 3.9 Placa Arduino UNO

La utilización de esta placa como unidad de procesamiento, así como los diferentes elementos es de suma importancia para el funcionamiento del prototipo, ya que se encarga fundamentalmente de la interpretación y adquisición de la información que se obtiene de la unidad que realiza el sensado en este caso el módulo de vibración.

La selección y uso de este microcontrolador se basó en las conclusiones expuestas por Carlos Tapia Ayala y Héctor Manzano Yupa compañeros de la universidad politécnica



salesiana en la sede Guayaquil en el año 2013 en su trabajo de titulación “Evaluación de la plataforma Arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal” (Tapia Ayala, 2018) en la cual recalcan lo factible de este equipo su gran adaptabilidad con diferentes tecnologías y su diversidad, el cual se encuentra detallada a continuación.



Figura 3.8. Arduino Uno, unidad de procesamiento  
Fuente: <http://arduino.cl/arduino-uno/>

Tabla 3.3  
*Características técnicas del Arduino UNO*

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (límite)	6 – 20 V
E/S digitales	14 pines
Pines I/O PWM digitales	6 pines
Pines de I/O analógicos	6 pines
CC para pines I/O	20 Ma
CC para pines de 3.3 V	50 Ma
Memoria flash	32 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Largo	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25 g

### 3.10 XBee Explorer USB

Con el propósito de generar una conexión entre la placa Arduino UNO y el módulo XBee Pro S1 se ha seleccionado este dispositivo, el cual tiene como finalidad acoplarse con un Arduino y permite la comunicación inalámbrica a través de protocolo Zigbee, además debido a su alta utilidad sirve para exponer las señales en el puerto serie necesarias para la comunicación con la unidad de procesamiento gracias al convertidor USB serial FT232RL ya que consta con una interfaz serial integrada.



*Figura 3.9. XBee Explorer USB*

Fuente: <http://tdrobotica.co/xbee-explorer-usb/651.html>

### 3.11 Módulo XBee Pro S1

En torno a la comunicación inalámbrica entre los dispositivos, se usó los módulos XBee pro S1, que han sido elegidos basado en sus detalles técnicos y su rango de cobertura.

Este equipo es de suma importancia debido a que será el encargado de la comunicación, el envío y la recepción de los datos obtenidos por los sensores, las características o detalles como su tiempo de vida, potencia de transmisión y recepción fueron las necesarias para la cobertura en el monitoreo, los cuales se detallan a continuación.



Figura 3.10. Módulo XBee Pro S1  
Fuente: <http://www.estecs.com.mx/producto/xbee-s1/>

Tabla 3.4  
*Especificaciones técnicas del módulo XBee Pro S1*

FUNCIONES	
Tasa de datos	254 kbps
Rango en interiores	30 m
Rango línea de vista	100 m
Potencia de transmisión	1 Mw (+0dBm)
Sensibilidad del receptor	-92 dBm
CARACTERÍSTICAS	
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Inmunidad a la interferencia	DSSS (Direct Sequence Spread Spread Spretum)
Tasa de comunicación serial	1200 bps a 250kbps
Conversores ADC	Conversores de 10 bit
I/O Digitales	Hasta 8 disponibles
PWM (Pulse Width Modulation)	Hasta 2 disponibles
Opciones de antena	Chip, Wire Chip, U.FL y RPSMA
REDES Y SEGURIDAD	
Encriptación	128 bits
Entrega confiable de paquetes	Reintentos/ aviso de recibo de paquetes
ID's y canales	PAN ID (personal Area Network), 64-bit IEEE MAC, 16 canales
REQUERIMIENTO DE PODER	
Voltaje de alimentación	2.8 a 3.4 Vdc
Corriente al transmitir	45 mA @ 3.3 Vdc
Corriente al recibir	50 mA @ 3.3 Vdc
Corriente de apagado	<10Ua @ 25 °C

Fuente: (Mangas, 2018)

### 3.12 Configuración de los XBee Pro S1 en el programa XCTU

La configuración de los módulos XBee S1 se los realizó en el programa Open Source “XCTU” de una manera cautelosa ya que de esta configuración depende la correcta transmisión de los paquetes con la información de los sensores y que el consumo de energía del sistema sea mínimo y demanda solo la energía necesaria.

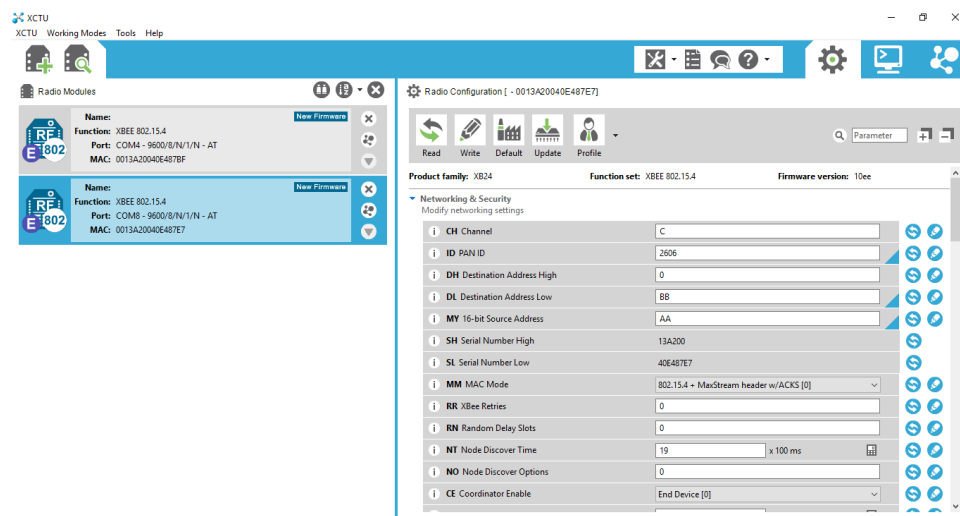


Figura 3.11 Configuración del dispositivo XBee (BB) con el software XCTU

Fuente: Autores

Dichos valores de configuración se encuentran detallados a continuación.

Tabla 3.5  
Configuración de los XBee Pro S1 en el XCTU

Indicador	Nombre	Valor
CH	Nombre de canal asignado para el envío y transmisión de datos, a un prototipo	C
ID	Pan ID	2606
DH	Dirección de destino	0
DL	Dirección destino de recepción	BB
MY	Identificador	AA
SH	Dirección serial alta	13A200
SL	Dirección serial baja	40E487E7

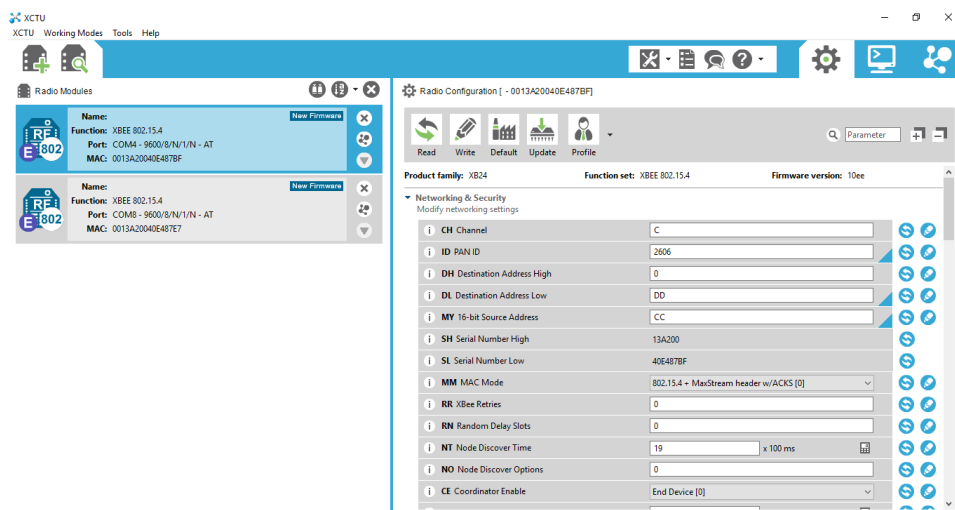


Figura 3.12 Configuración del dispositivo XBee (DD) con el software XCTU  
Fuente: Autores

Tabla 3.6  
Configuración de los XBee Pro S1en el XCTU

Indicador	Nombre	Valor
CH	Nombre de canal asignado para el envío y transmisión de datos, a un prototipo	C
ID	Pan ID	2606
DH	Dirección de destino	0
DL	Dirección destino de recepción	DD
MY	Identificador	CC
SH	Dirección serial alta	13A200
SL	Dirección serial baja	40E487BF

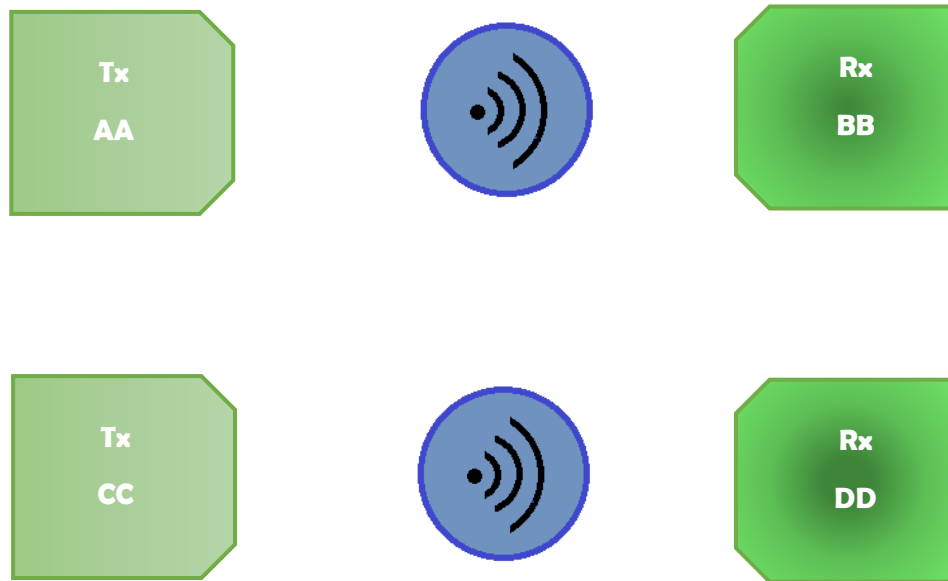


Figura 3.13 Topología de la red empleada

### 3.13 Prueba de transmisión de Datos

Luego de la configuración se realizó una prueba de transmisión para corroborar que las configuraciones realizadas fueron exitosas.

```

insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","317.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","397.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","445.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","169.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","330.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","92.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","323.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","127.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","295.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","1023.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","418.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","301.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","366.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","0.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","352.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","384.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","337.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","80.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","443.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","824.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","285.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","546.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","309.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","645.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","416.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","192.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","417.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("2","278.0")
insert into measurements (sensor_id,measurement) values ("1","324.0")
  
```

Figura 3.14. Visualización en el cmd

Fuente: Autores

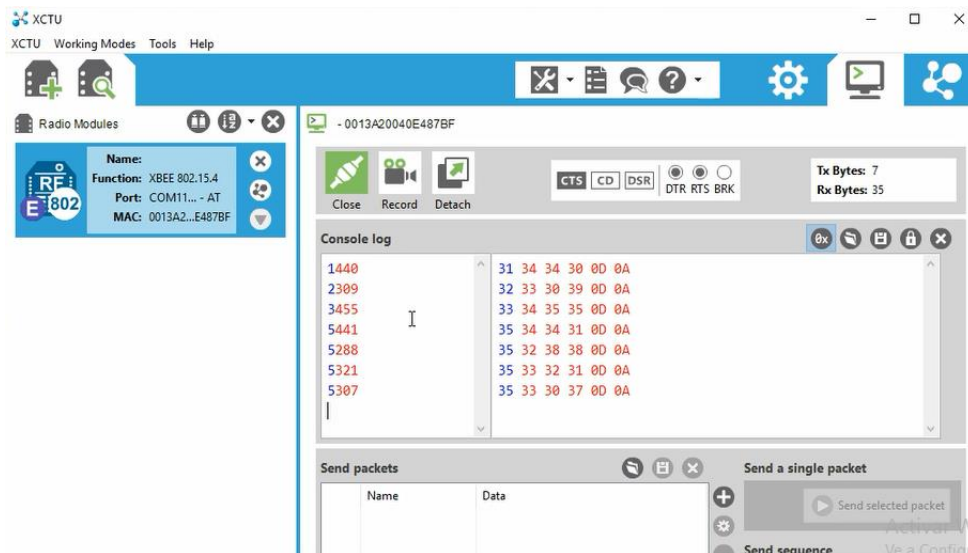


Figura 3.15. Pruebas de transmisión y recepción

Fuente: Autores

### 3.14 Lenguaje de programación (Python)

Para la creación de una base de datos donde podamos guardar las mediciones realizadas por el prototipo se optó por usar el lenguaje de programación Python, ya que por su versatilidad y funcionamiento es compatible con la placa Arduino UNO.



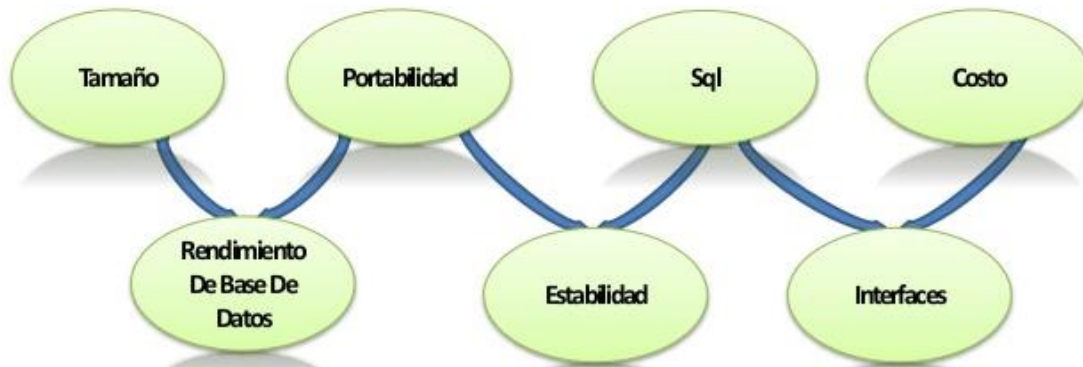
Figura 3.16. Logo lenguaje de programación usado Python

Fuente: <https://www.pluralsight.com/paths/python>

### 3.15 Base de datos

La base de datos contiene toda la información captada por la unidad de sensado que son los SW-420, busca ser la fuente de la verdad donde se almacenará toda la información.

Se usa una base de datos Sqlite3 debido a su amplia aceptación en el mercado como podemos ver en la figura 3.16, además de su portabilidad, costo, estabilidad y su modelo relacional que permite relacionar datos de varias tablas de forma muy sencilla y eficiente.



*Figura 3.17 Aceptación de sqlite*  
Fuente: <https://es.slideshare.net/aguamarinturpobelizario/sqliteconcepto>

Las bases de datos SQLite son bases de datos relacionales, es decir se pueden guardar los datos en diferentes tablas para optimizar las consultas.

Esta base de datos se encuentra en una portátil y cada vez que se necesite realizar el análisis de una parte de la estructura el usuario puede acceder a ella de una manera sencilla.

El acceso a la base de datos se lo puede hacer desde un programa en Matlab, cambiando el nombre de la base de datos en el código.

### 3.16 Visual Studio Code

Visual Studio Code nos permitió asociar el lenguaje de programación de Python con la base de datos, ya que gracias a su editor de código fuente podemos observar las líneas de comando y de esta forma crear la base de datos y almacenar los datos que envían los sensores por medio de los XBee.



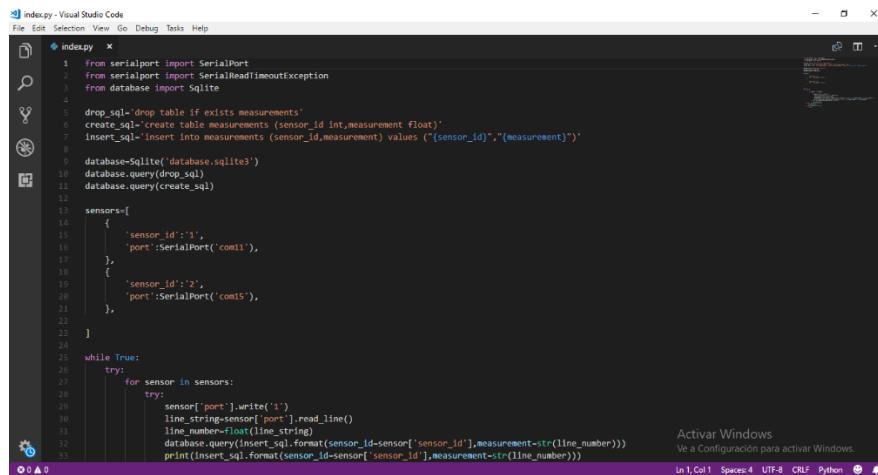


Figura 3.18. Programación en Visual Studio Code  
Fuente: Autores

### 3.17 Matlab y Sqlite

En base al trabajo de investigación científica realizada, es de mucha importancia la elección adecuada de la tecnología utilizada para el análisis de los datos almacenados en la base de datos sqlite3.

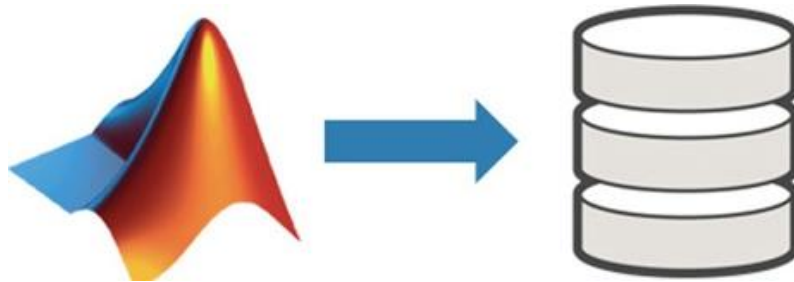


Figura 3.19 SQLite python  
Fuente: Autores

Se podrían usar diferentes tipos de lenguaje de programación como Basic, java, PHP, C#, C++, incluso hojas de cálculos, pero en ocasión se ha optado por el programa capaz de resolver problemas de ingeniería como lo es MATLAB, que es apto para realizar operaciones avanzadas sobre matemática e ingeniería.

Matlab posee un lenguaje de programación que se basa en scripts y con la inclusión de los conceptos básicos de la mayoría de lenguaje de programación lo convierte en la mejor opción debido a su relacionamiento con base de datos como se muestra en la figura.

Ya que genera una depuración y reduce el código y el tiempo de desarrollo efectivamente, considerando que se busca una efectividad y pocos errores con una gran rapidez al momento de analizar la base de datos.



*Figura 3.20* Relación Matlab y SQLite  
Fuente: Autores

Para analizar los datos utilizando SQLite en MATLAB se puede usar la interfaz MATLAB para SQLite para mover datos entre MATLAB y un archivo de base de datos SQLite. La conexión SQLite es diferente de una conexión de base de datos creada con un controlador JDBC.

Para la conexión entre Matlab y la base de datos SQLite se hace uso de una sintaxis las cuales realizan la comunicación entre estos elementos. La sintaxis usada se describe a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3.7

*Comandos utilizados para conectar SQLite en MatLab*

<b>Conn = sqlite (dbfile)</b>	Sirve para conectar a un archivo de base de datos sqlite existente
<b>Conn = sqlite (dbfile,mode)</b>	Se conecta a un archivo de base de datos existente o crea y se conecta a un nuevo archivo de base de datos, según el tipo de modo.

## ANALISIS DE RESULTADOS

Para este proyecto de titulación se propuso diseñar una red de sensores inalámbricas con el objetivo de analizar las vibraciones a las que se somete el puente que conecta la ciudadela Héctor Cobos en Duran con el resto de la ciudad, así también el algoritmo desarrollado en Matlab para la comparación de los resultados medidos con el cual se podrá observar los límites establecidos con las normas ya mencionadas.

### 4.1 Implementación del proyecto

El proyecto de titulación fue implementado en la ciudad de Duran en el puente que conecta a la ciudadela Héctor Cobos, conocida como el arbolito con el sector de barrio lindo.



*Figura 4.1* Puente ingreso “El Arbolito”



*Figura 4.2 Estructura analizada*



*Figura 4.3 Montaje del prototipo*





*Figura 4.4 Montaje del prototipo*



*Figura 4.5 Montaje del sensor*

```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.228]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Andres>cd C:\Users\Andres\Desktop\ARCHIVOS TESIS\final

C:\Users\Andres\Desktop\ARCHIVOS TESIS\final>python realtimeplot.py
usage: realtimeplot.py [-h] --port1 PORT1 --port2 PORT2
realtimeplot.py: error: the following arguments are required: --port1, --port2

C:\Users\Andres\Desktop\ARCHIVOS TESIS\final>python realtimeplot.py --port1 com3 --port2 com5
```

Figura 4.6 Comando ejecución grafica real time

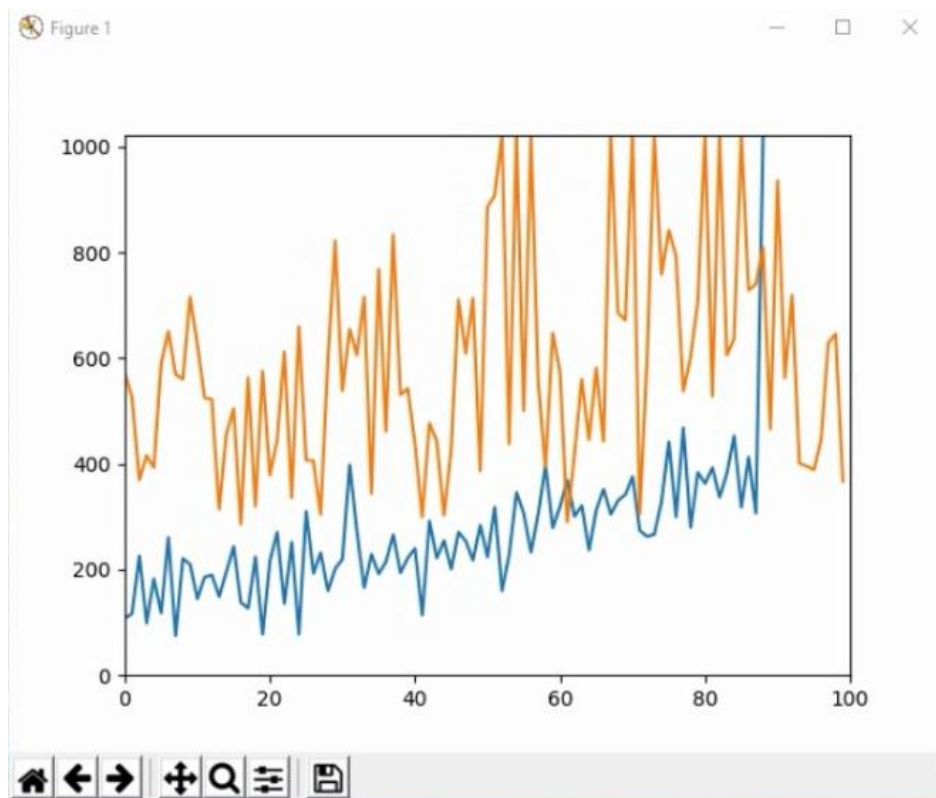


Figura 4.7 Adquisición de datos en tiempo real



Figura 4.8 Adquisición de datos

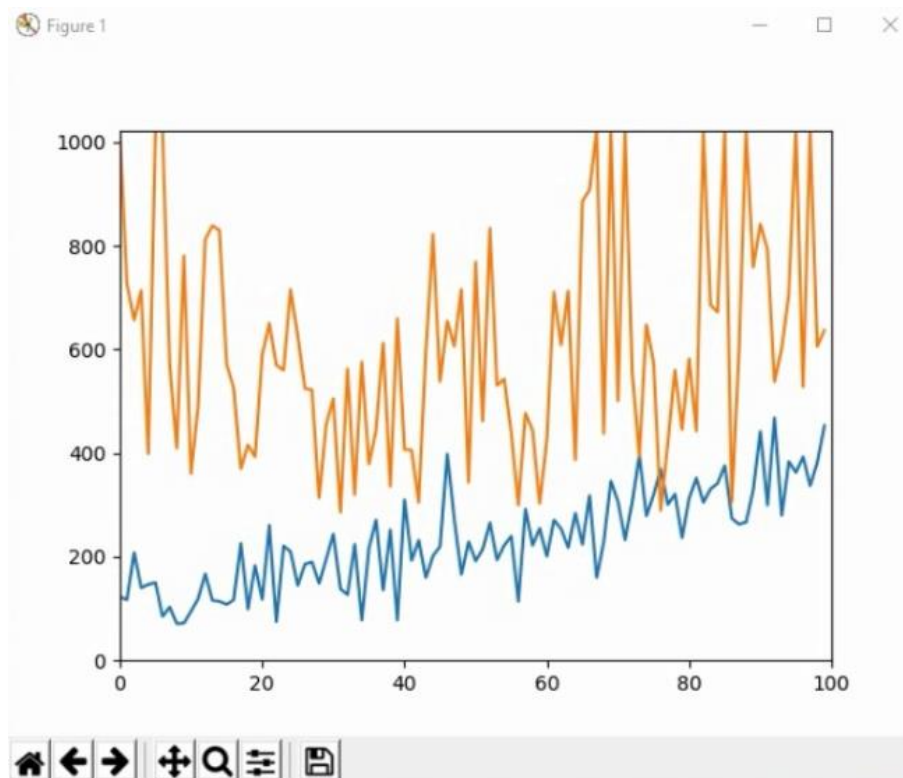


Figura 4.9 Comportamiento de la estructura en tiempo real



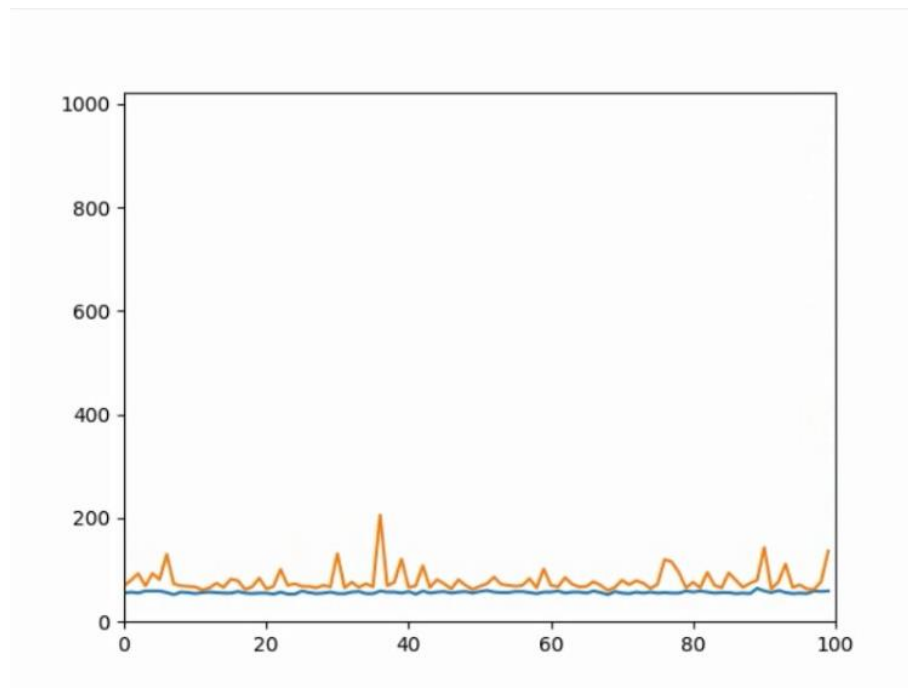


Figura 4.10 Comportamiento de la estructura en tiempo real

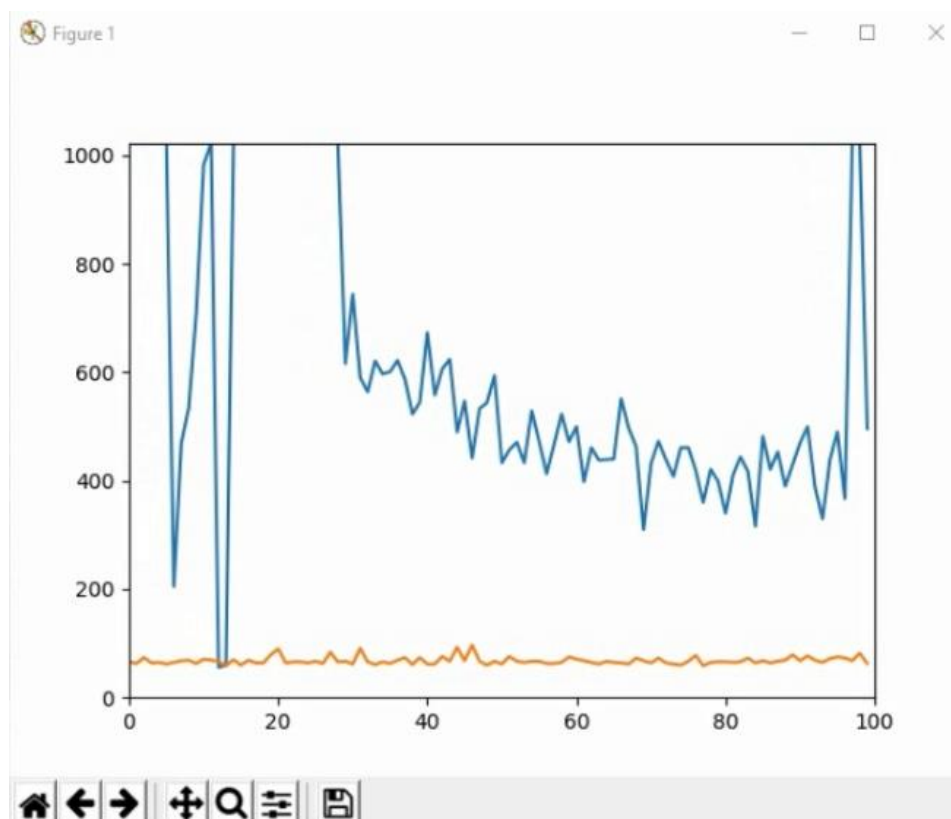


Figura 4.11 Comportamiento de la estructura en tiempo real

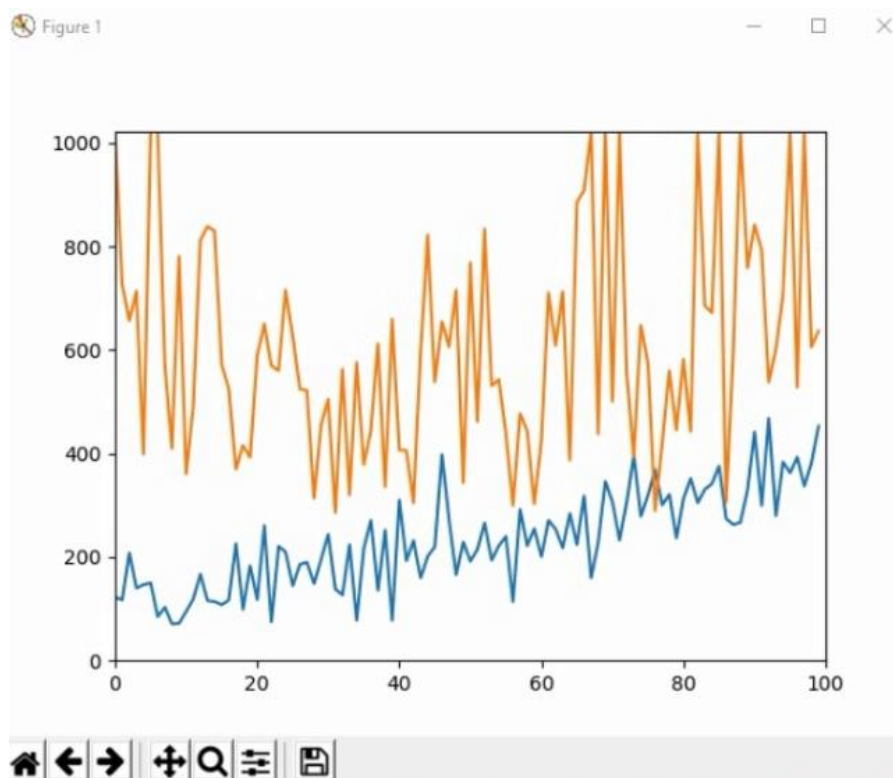


Figura 4.12 Comportamiento de la estructura en tiempo real

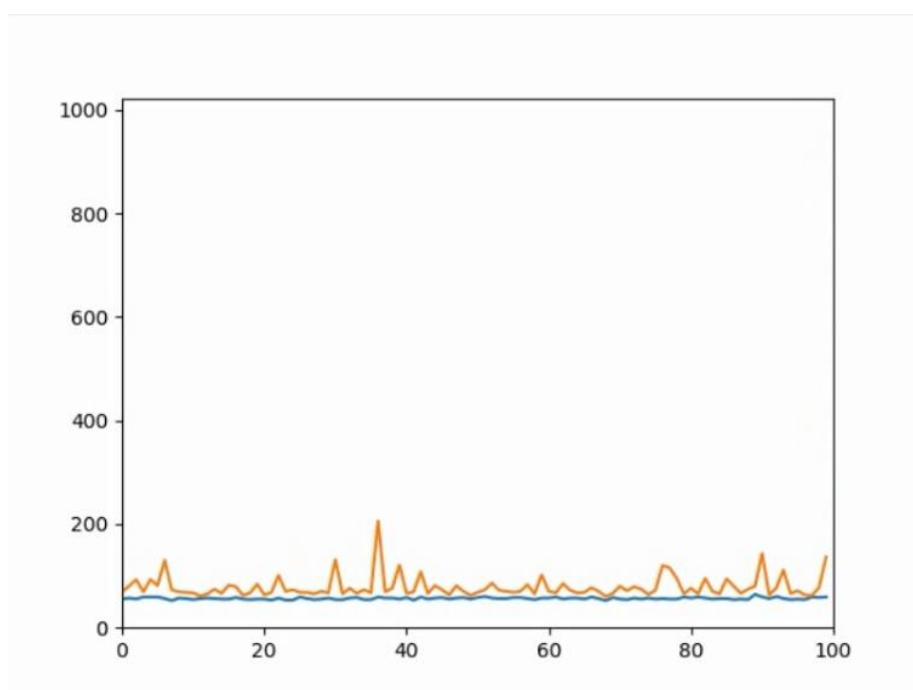
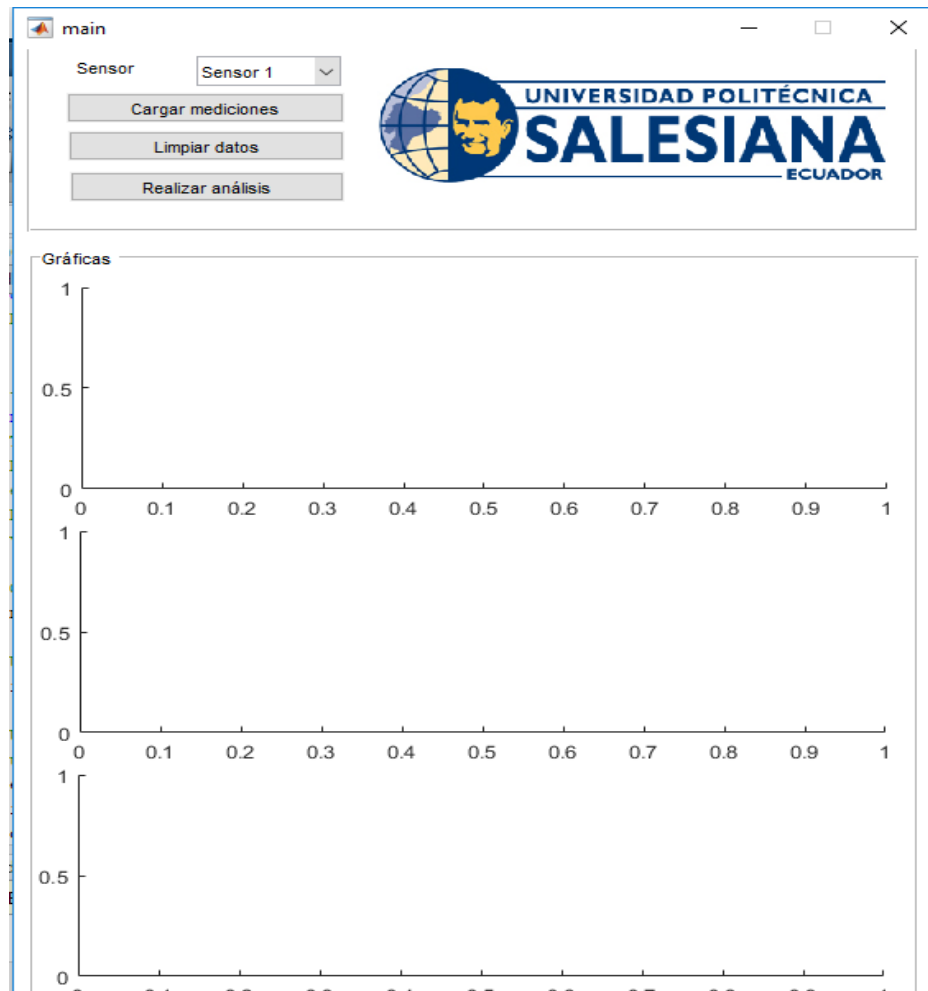


Figura 4.13 Comportamiento de la estructura en tiempo real

## 4.2 Explicación de la aplicación

A continuación, se explica el funcionamiento de la interfaz para el usuario. En la figura se exhibe la pantalla principal de la interfaz, donde se encuentran los diferentes iconos.



*Figura 4.14* Pantalla de la interfaz

En la pantalla principal podemos dividir en dos secciones para poder comprender el funcionamiento.

- **Sensor**

En la parte superior encontramos una barra despegable que contiene los datos adquiridos por los sensores, donde podremos seleccionar el sensor que realizaron las

mediciones durante estos meses, al momento de seleccionar esta opción se mostrara lo que aparece a continuación en la figura

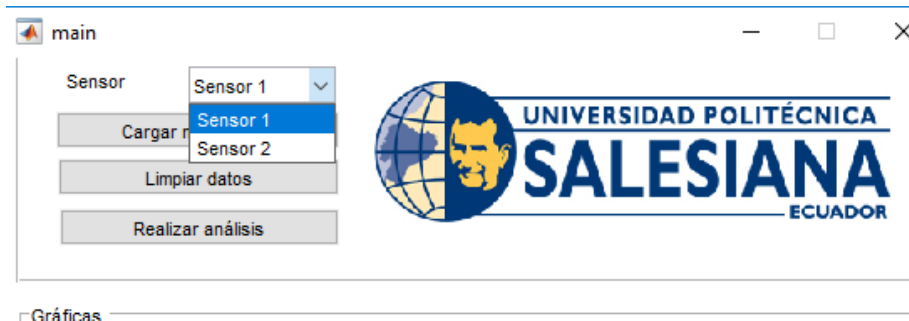


Figura 4.15 Selección del sensor

- **Cargar Mediciones**

Esta opción que se encuentra en la figura 4.16 nos ayuda a cargar los valores de medición analógica hecho por el sensor previamente seleccionado.



Figura 4.16 Cargar mediciones

- **Limpiar datos**

Hace referencia a modificar los datos y componentes frecuenciales de la señal analógica adquirida por los sensores y almacenada en la base de datos, esta opción elimina el ruido transitorio causado por agentes externos a los adquiridos y enviados por los sensores.

Esta opción no hace referencias a filtros conocidos como pasa bajo o pasa alto sino a la eliminación de ruidos y señales que no forman parte de la vibración del puente.



Figura 4.17 Limpiar datos

- **Realizar análisis**

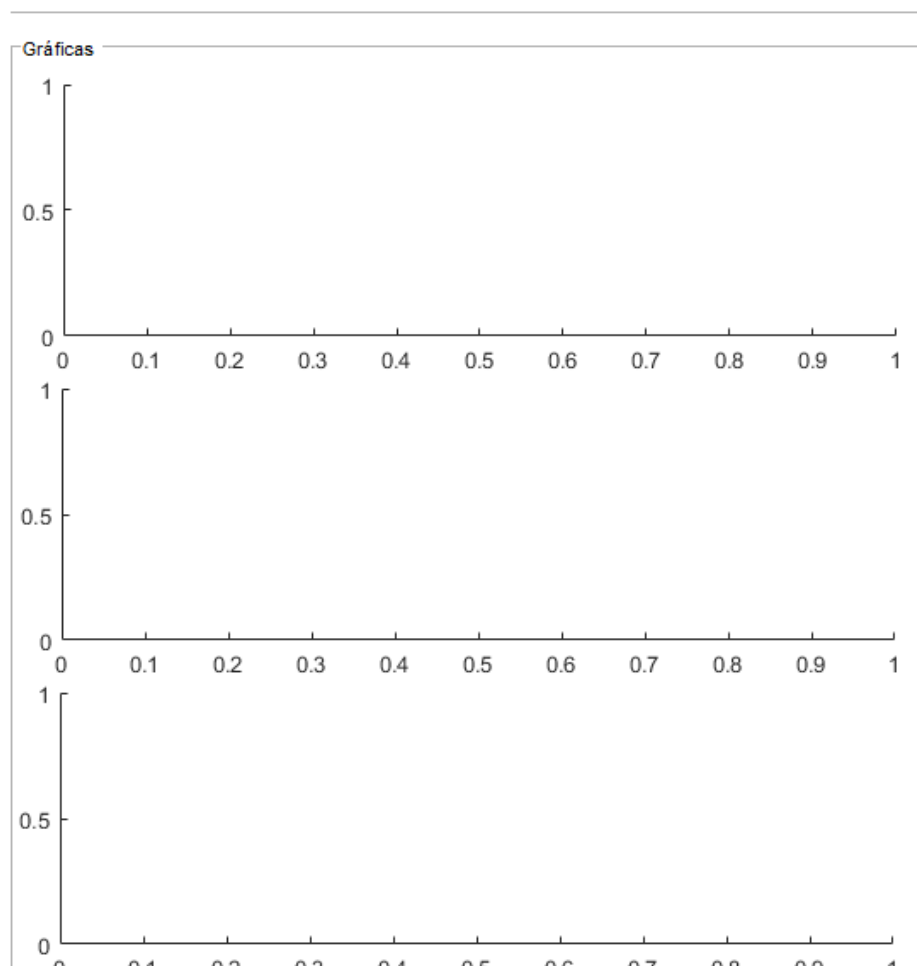
Esta opción hace referencia a examinar los datos almacenado, con el fin de obtener conclusiones sobre la información arrojada por los sensores.

El cual realizará un mapeo conforme al límite máximo de frecuencia según la norma pan 50 de la tabla 2.14 y se hará una comparación para poder ver los resultados.



Figura 4.18 Realizar análisis

En la segunda parte de la interfaz podemos observar la opción de graficas las cuales reaccionaran según la opción que se elija previamente mencionadas, como se muestra en la figura 4.19.



*Figura 4.19 Sección de Graficas*

A continuación, se muestra la figura 4.20 los valores obtenidos al momento de seleccionar el botón cargar mediciones.

Los cuales muestran la gráfica en valores analógicos que fueron obtenidos por las vibraciones generadas por la estructura analizada y receptadas por los sensores utilizados y seleccionados en la opción sensor.

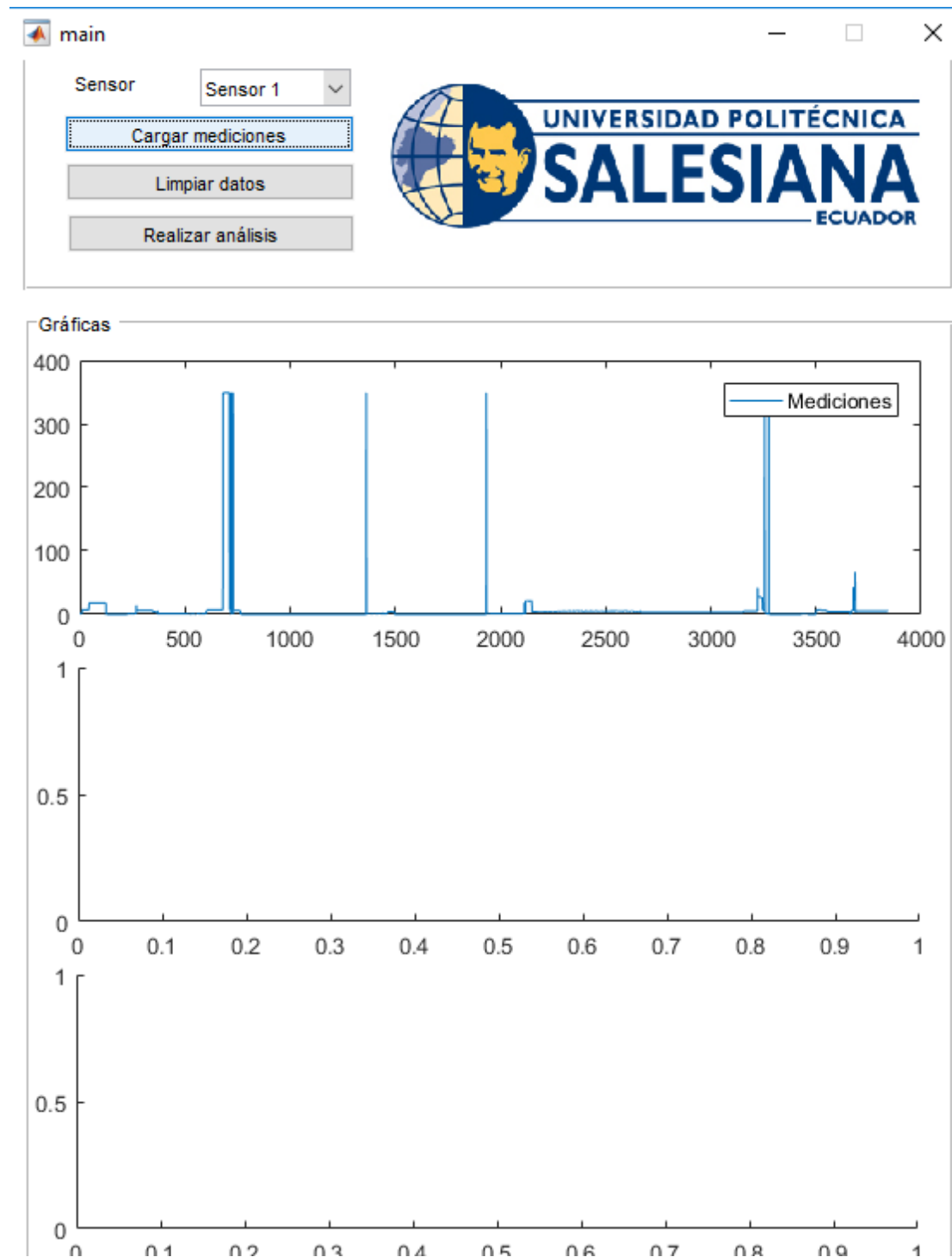


Figura 4.20 Grafica de las mediciones analógicas

Utilizando los mismos valores del sensor seleccionado se procede a limpiar esta gráfica eliminando el ruido y dejándola en valores digitales mediante el filtrado de datos que se realizó, de tal forma que se han omitido los valores por debajo de las 200 unidades que se podrían considerar como ruido, dejándolos en valores de “0” y “1” donde cero son valores sin vibración y 1 son valores que pasan las 200 unidades.

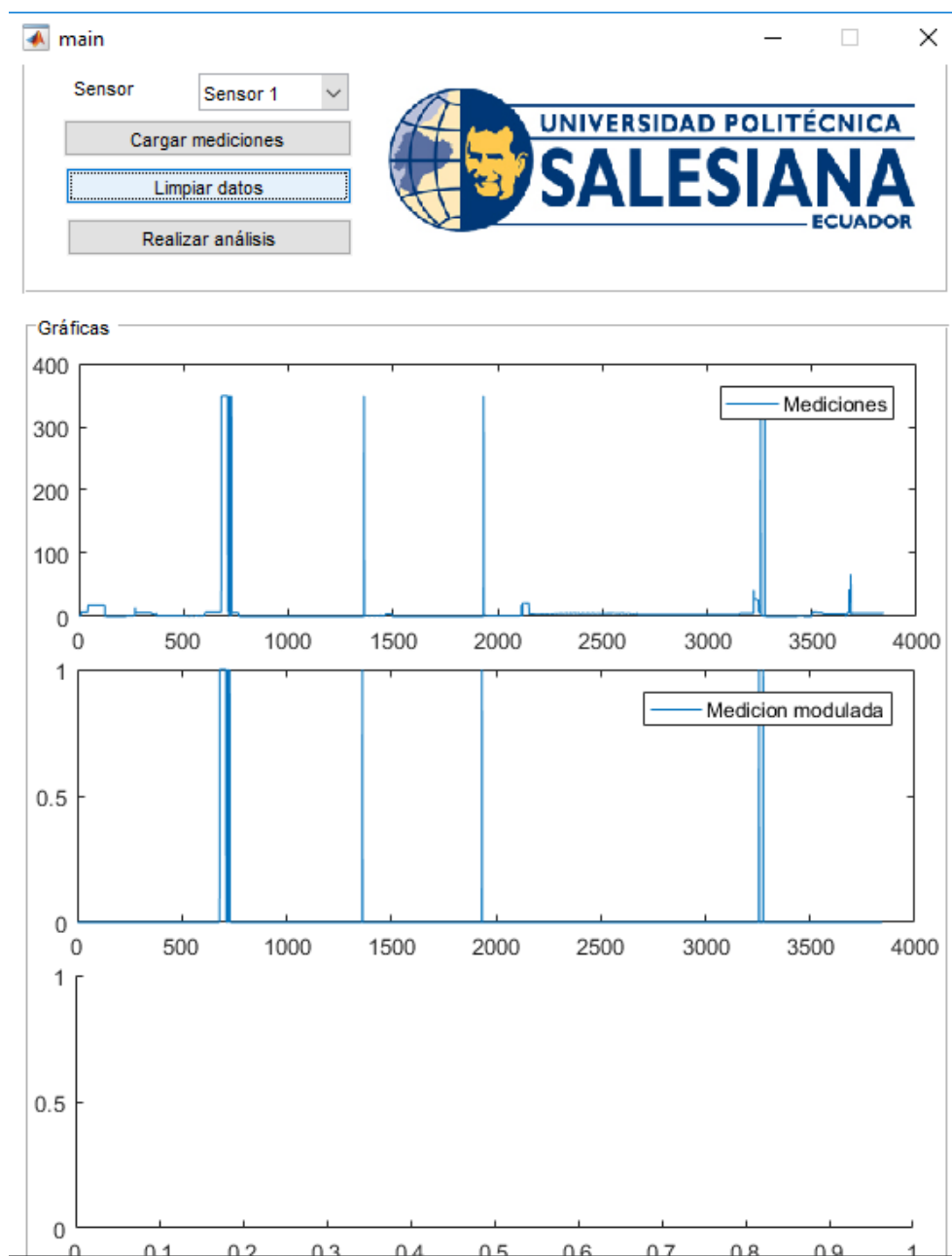


Figura 4.21 Medición Modulada



En la Figura 4.22 se observa los resultados gráfica al seleccionar la opción realizar análisis, llevada a términos de frecuencias para así ser comparadas con los datos la norma PAN 50 que se encuentra descrita en la tabla 2.14

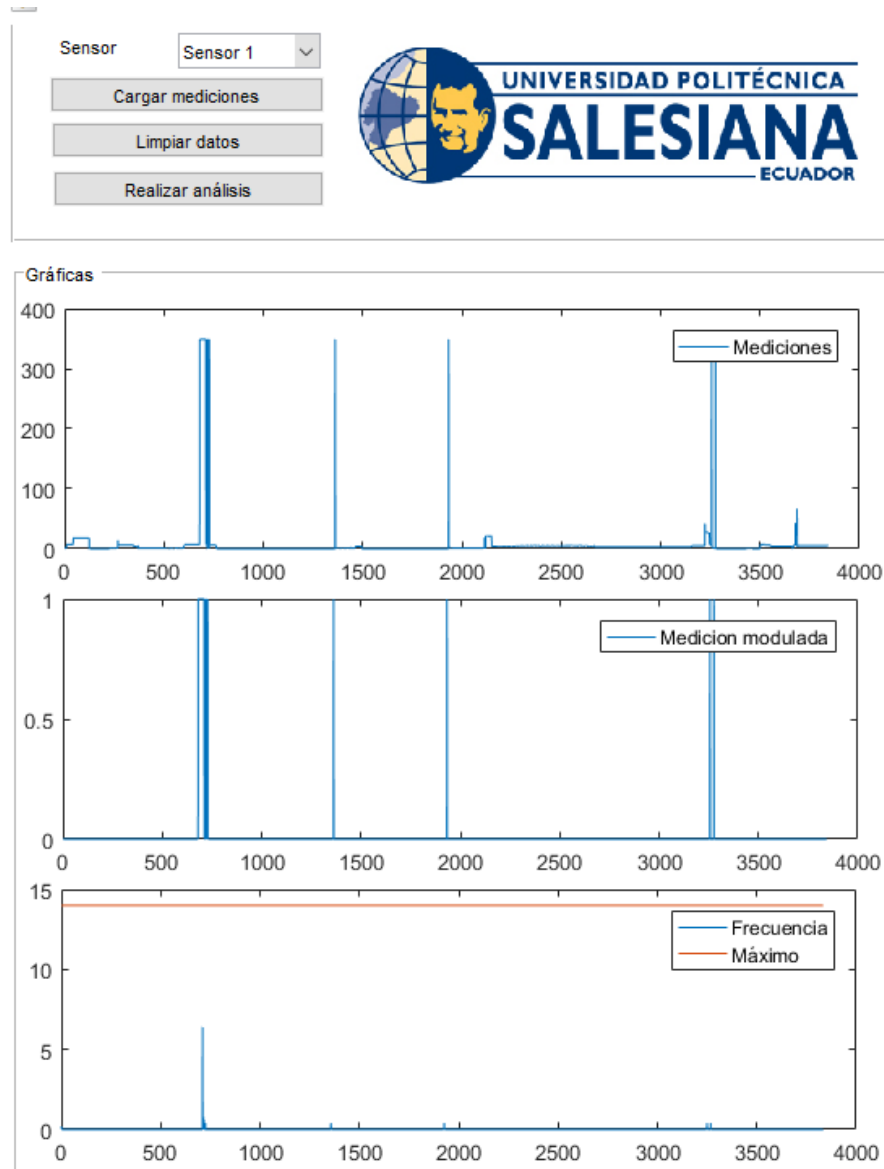


Figura 4.22 Análisis de la base de datos

En la figura 4.23 se puede visualizar los resultados del análisis del sensor 1 ubicado en el puente para su comparación con la norma pan 50 descrita en la tabla 2.14

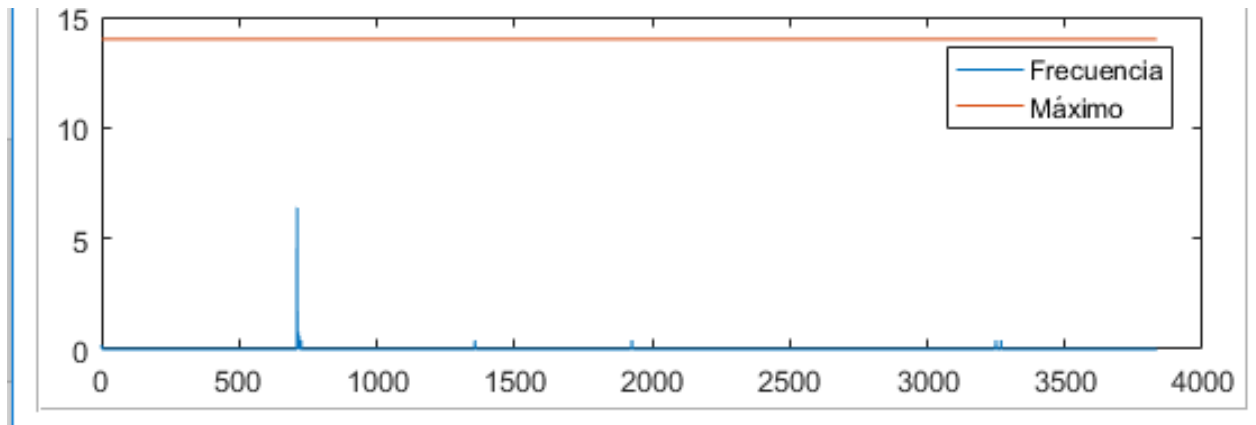


Figura 4.23 Resultados del análisis del sensor 1

### 4.3 Interpretación de resultados obtenidos

Una vez generada la base de datos en formato sqlite3 y exportada a Matlab como se ve en la figura 4.24, se procede al análisis de dicha base según el lugar donde fueron ubicados los sensores, para una posterior interpretación de resultados comparando con la normativa internacional utilizada descrita en la tabla 2.14.

```
% --- Executes on button press in loadButton.
function loadButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to loadButton (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
sensorSelected = get(handles.sensorSelector, 'Value');
databasePath='database/databasecentro.sqlite3';
switch sensorSelected
case 1
    connection = sqlite(databasePath);
    results = fetch(connection, 'select sensor_id, measurement from measurements where sensor_id = 1');
case 2
    connection = sqlite(databasePath);
```

Figura 4.24 Selección de la Base de datos

A continuación, en la figura 4.25, se muestra la captura de datos del centro del puente monitoreado en tiempo real y en la figura 4.26 su análisis realizado en Matlab.

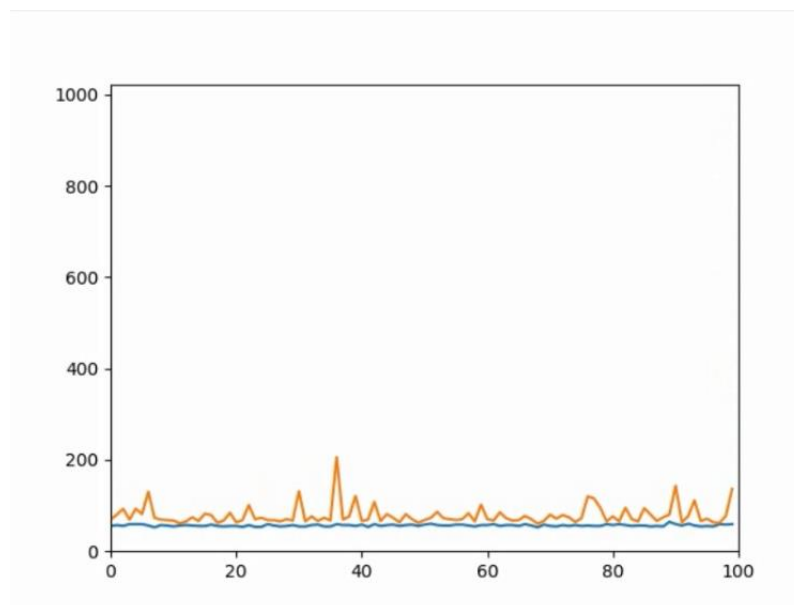


Figura 4.25 Grafica en tiempo real mitad de tiempo

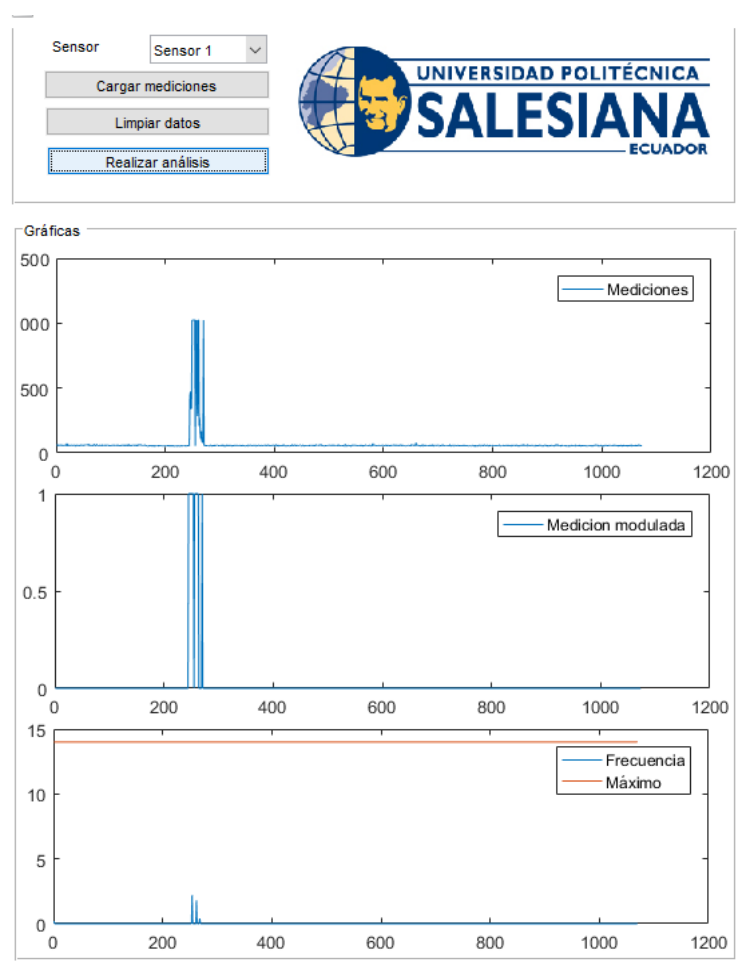


Figura 4.26 Análisis centro del puente

Donde podemos ver que según la figura 4.26 los valores obtenidos son bajos, y están representados en la ventana de la aplicación, cuyo valor no excede los límites establecidos por la norma internacional según la tabla 2.14.

En la figura 4.27 podemos observar que la condición del puente en la mitad, se encuentra en condiciones aceptables y no presenta daños significativos.



*Figura 4.27 Centro del puente analizado*

A cotinuación se muestran los datos y resultados obtenidos en el principio del puente en sus diferentes etapas tanto de monitoreo en tiempo real así como el análisis en MatLab.

```

function loadButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to loadButton (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
sensorSelected = get(handles.sensorSelector, 'Value');
databasePath='database/databaseiniciopuente.sqlite3';
switch sensorSelected
case 1
    connection = sqlite(databasePath);
    results = fetch(connection, 'select sensor_id, measurement from measurements where sensor_id = 1');
case 2
    connection = sqlite(databasePath);
    results = fetch(connection, 'select sensor_id, measurement from measurements where sensor_id = 2');
end
close(connection);

```

Figura 4.28 Selección de Base de Datos inicio del puente

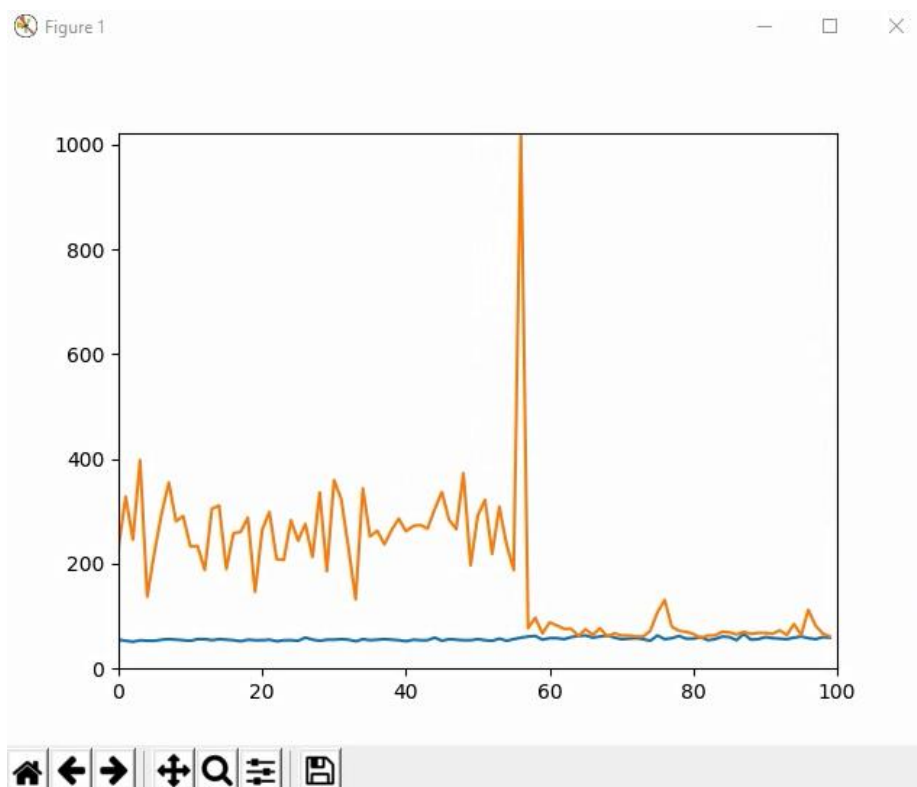
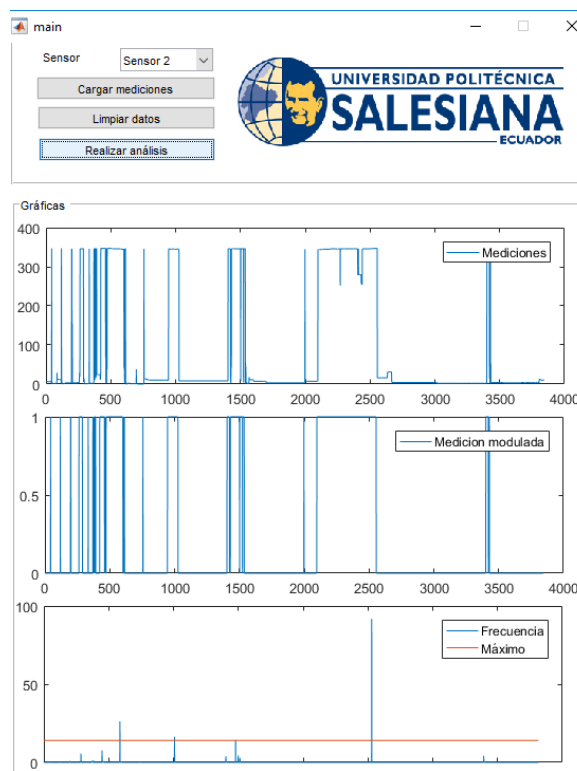


Figura 4.29 Comportamiento en Tiempo Real de las mediciones al inicio del puente



*Figura 4.30* Análisis Completo



*Figura 4.31* Grietas presentes al inicio del puente

## CONCLUSIONES

La apropiada selección de los sensores sw-420 para el monitoreo es de suma importancia y dependerá principalmente del tipo de estructura a monitorear, su colocación y condición, pues esto permitirá la obtención fiable y precisa de información, por medio de una excitación por efectos ambientales la cual está siendo generada por la vibración de los automóviles que circulan por la estructura analizada y así poder obtener información acerca de las condiciones de la estructura en evaluación.

Para realizar el análisis a partir de los datos obtenidos fueron necesarios realizar ciertos procedimientos matemáticos que nos permita utilizar los datos idóneos y así mismo descartar los datos que no contribuyan al análisis. Normalizar para llevar todos los datos a una medida o rango definido para poder agruparlas dentro de una base de datos. Escalar la información obtenida por el método adecuado para que los datos no se distorsionen con el ruido presente en las mediciones y finalmente filtrar todos los datos que no ayuden al proceso de análisis y que puedan generar errores.

El monitoreo en tiempo real, ayuda a visualizar el estado del puente en todo momento y como el paso de automóviles genera un cambio en las señales adquiridas y de esa forma saber cuándo ocurre algún cambio fuera de lo normal. El almacenamiento de los datos en sqlite3 que se obtiene en los análisis de las vibraciones nos ayudan para ser tomarlos como referencia y conocer el comportamiento del puente en ciertos casos puntuales por ejemplo cuando pasan más carros pesados de lo normal y a una velocidad superior a lo estipulado por la ley.

Lo ideal de las características de la red de sensores inalámbricos por medio del protocolo Zigbee como su bajo costo, seguridad, consistencia, bajo consumo de energía y alcance, le han permitido colocar entre la tecnología más utilizada en procesos de monitoreo y control ya que gracias a sus conexiones punto a punto y punto multipunto soporta múltiples topologías y gracias a ello genera una optimización de la comunicación y transmisión de datos.



## **RECOMENDACIONES**

Usar sensores de tipo analógicos para obtener una buena resolución de los datos que se obtienen y así poder ver los diferentes niveles de amplitud de las graficas generadas por las vibraciones producidas por los vehículos al transitar sobre el puente analizado.

Tomar mediciones en el puente en diferentes horarios para poder apreciar el comportamiento de la estructura bajo diferentes niveles de tráfico y diferentes condiciones climatológicas para determinar los niveles de estrés de la estructura y tener mejores muestras para el análisis estructural.

Una vez obtenidos los datos, y comparados con la norma internacional vigente, se recomienda que se genere un informe a la entidad a cargo del mantenimiento y cuidado del puente, en este caso el municipio de Duran indicando la novedad sobre su condición y los posibles daños que este presenta a nivel estructural.

## Bibliografía

- ACHS. (2014). *PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES*. CHILE: ACHS.
- Arduino. (s.f.). *Arduino*. Obtenido de [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Arduino. (s.f.). *Arduino and Processing*. Recuperado el Septiembre de 2018, de <https://playground.arduino.cc/interfacing/processing>
- Arkiplus. (s.f.). *Arkiplus*. Recuperado el mayo de 2018, de [www.arkiplus.com/colapso-estructural](http://www.arkiplus.com/colapso-estructural)
- ASM. (1998). *Metals HandBook*.
- Carrión Viramontes, F. J., Lozano Guzmán, A., Fabela Gallegos, M. D., Vázquez Vega, D., & Romero Navarrete, J. A. (1999). *EVALUACION DE PUENTES MEDIANTE EL ANALISIS DE VIBRACIONES*. Instituto Mexicano del Transporte Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Sanfandila, Qro. Recuperado el 05 de 2018, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt132.pdf>
- Castro, M. M. (24 de Agosto de 2014). *Scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/237631841/Norma-de-Vibraciones-docx>
- Chavez , A., & Rosales, V. (7 de Junio de 2016). *Claves para el adecuado mantenimiento de puentes*. Obtenido de <http://revistaconstruir.com/paso-paso-claves-adecuado-mantenimiento-puentes/>
- COCOA. (s.f.). *COCOA*. Recuperado el 05 de 2018, de <https://ccocoa.com/tipos-de-puentes-que-existen-y-sus-caracteristicas/>
- Comisu, C., Taranu, N., Boaca, G., & Scutaru, M. (2017). *Structural health monitoring system of bridges*. Romania.
- Doebling, S. W., Farrar, C. R., Prime, M. B., & Shevitz, D. W. (1996). *Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review*. Los Alamos National Laboratory Report: L.A.
- Española, A. d. (09 de Mayo de 2018). *RAE*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=bjLNkmF>
- Esqueda Elizondo, J. J. (2002). *Matlab e Interfaces Gráficas*. Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO, Tijuana. Recuperado el 22 de Septiembre de 2018, de *Matlab e Interfaces Gráficas*: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Identificacion/matlab\\_seminar/docs/Matlab6xConatec.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Identificacion/matlab_seminar/docs/Matlab6xConatec.pdf)
- Estructural, S. M. (2011). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de <https://www.uv.mx/personal/rosalgado/files/2011/03/08-29-Molina-et-al.pdf>
- Farrar, C. R., Sohn, H., Hemez, F. M., Anderson, M. C., Bement, M. T., Cornwell, P. J., . . . Schultze, J. F. (2003). *Damage Prognosis: Current Status and Future Needs*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/281785763\\_Damage\\_Prognosis\\_Current\\_Status\\_and\\_Future\\_Needs](https://www.researchgate.net/publication/281785763_Damage_Prognosis_Current_Status_and_Future_Needs)

- FERNANDA, S. C., & VERÓNICA, V. H. (1 de septiembre de 2018). Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3241/1/98T00043.pdf>
- Group, B. (6 de agosto de 2018). Obtenido de <https://www.bsigroup.com/es-MX/>
- Group, B. (18 de Agosto de 2018). Obtenido de <https://www.gov.scot/Resource/Doc/159000/0043215.pdf>
- Guaña Moya, E. J. (2016). *Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura*. Tesis, Quito. Recuperado el 14 de 06 de 2018
- Haritos, N., & Owen, J. S. (2004). *The Use of Vibration Data for Damage*. Obtenido de <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1475921704042698>
- Holguín Tomalá, M. G., & Choez Soledispa, W. A. (2016). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA EL MONITOREO DE LA SALUD ESTRUCTURAL DEL PUENTE RAFAEL MENDOZA AVILÉS (COMPLEJO VIAL DEL PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL)*. Universidad de Guayaquil, GUAYAQUIL. Recuperado el Junio de 2018
- José G., M. A., & Alfredo, G. (15 de 07 de 2012). *Redes de Sensores Inalambricas WSN*. Obtenido de <http://redesdesensoreswsn.blogspot.com/2012/07/redes-de-sensores-inalambricas-wsn-upt.html>
- Mangas. (3 de 9 de 2018). Obtenido de [www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/Shield%20XBee%20Arduino/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/Shield%20XBee%20Arduino/XBee-Guia_Usuario.pdf)
- Mayorga Marín, J. E. (2016). *Metodología para el diseño preliminar de sistemas de diagnóstico estructural: conceptos, recomendaciones y aplicaciones para puentes*. Concepción. Recuperado el 18 de Abril de 2018
- Ochoa Azuero, M. E. (2016). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA DE SENSORES BAJO EL ESTANDAR IEEE 802.15.4 (ZIGBEE) PARA EL MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL JARDÍN BOTÁNICO REINALDO ESPINOSA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Loja, Loja. Recuperado el 07 de Mayo de 2018
- Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)*. (s.f.). Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/1/InformeTecZB.pdf>
- Saigua Carvajal, S. F., & Villafuerte Haro, M. V. (2014). *Evaluación de las topologías físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A. - ESPOCH*. Chimborazo.
- Salgado, R. E. (2008). *Damage detection methods in bridges through vibration monitoring: evaluation*. Tesis Doctoral, Guimaraes, Portugal.
- Souza, H., Félix, C., Bento, J., & Figueiras, J. (2011). *Design and implementation of a monitoring system applied to a longspan*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/88e6/b85d4a3781e645d04ced1934683cbaa9abda.pdf>

Tapia Ayala, M. Y. (2 de septiembre de 2018). Obtenido de  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5522/1/UPS-GT000511.pdf>

Universidad De Valencia. (s.f.). *Redes de Comunicación: Topología y enlaces*. Valencia.

Vogel, L. (07 de 09 de 2017). *Vogella*. Obtenido de  
<http://www.vogella.com/tutorials/AndroidSQLite/article.html>

## ANEXOS

### Presupuesto

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>2</b>	Placa Arduino uno	20.00	40.00
<b>2</b>	Xbee Shield pro S1	10.00	20.00
<b>4</b>	Módulo Xbee pro S1	50.00	200.00
<b>2</b>	Batería 6V/ 3Ah	10.00	20.00
<b>2</b>	Sensor de vibración sw420	8.00	16.00
<b>2</b>	Caja nodo sensor	8.00	16.00
<b>2</b>	Caja nodo coordinador	6.00	12.00
<b>2</b>	Xbee explorer USB	30.00	60.00
<b>1</b>	Cables y plug para arduino	10.00	10.00
<b>1</b>	Diseño y construcción del prototipo	200.00	200.00
<b>1</b>	Curso configuración XBee-XCTU	250.00	250.00
<b>1</b>	Curso configuración Python intermedio	300.00	300.00
<b>10</b>	Horas a la semana de trabajo de ingeniería	100	100
<b>Total</b>			<b>\$1.144.00</b>

## Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA ELABORACION DE PROYECTO																											
<b>PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL ANÁLISIS DE SALUD ESTRUCTURAL DE UN PUENTE A TRAVÉS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.</b>																											
NOMBRES: ÁNGEL MEJÍA Y JORGE SALAZAR																											
AÑO: 2018																											
PERIODO: 7 A 12 MESES																											
MESES	MAR-ABR			MAY-JUN			JUL-AGO			SEP-OCT			NOV-DIC			ENE-FEB			MARZO								
ACTIVIDADES:																											
Identificación del problema a tratar	■	■																									
Adquisición de los materiales		■	■	■																							
Estudio del lugar				■	■	■	■																				
Configuración de los equipos					■	■	■	■	■	■	■	■															
Primera Revisión del proyecto técnico								■	■	■	■	■															
Elaboración del prototipo final								■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Elaboración del Informe									■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Revisión del informe final																	■	■									
Presentación del proyecto técnico																				■	■	■					