



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL  
DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA  
DAVMOTOR CÍA. LTDA.”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial

**Autores:**

Aragón Pilco Bryan Jair

Villarreal Prado Johan Fernando

**Tutor:**

Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

**Latacunga - Ecuador**

**Febrero – 2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Aragón Pilco Bryan Jair con C.I. 160068928-3 y Villarreal Prado Johan Fernando con C.I. 040163028-0, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica como proyecto de titulación previo a la obtención del título de ingeniero industrial, siendo el Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



.....  
Aragón Pilco Bryan Jair

C.I.: 160068928-3



.....  
Villarreal Prado Johan Fernando

C.I.: 040163028-0

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor de investigación sobre el título:

**“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR CÍA. LTDA.”**, de Aragón Pilco Bryan Jair y Villarreal Prado Johan Fernando de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a evaluación del tribunal de validación de proyecto que el honorable consejo académico de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, \_\_ de Febrero del 2020

TUTOR

  
F. \_\_\_\_\_

Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

C.I. 0503257404

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, por cuanto, el o los postulantes Aragón Pilco Bryan Jair, Villarreal Prado Johan Fernando, con el título de Proyecto de titulación: “PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR CÍA. LTDA.” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

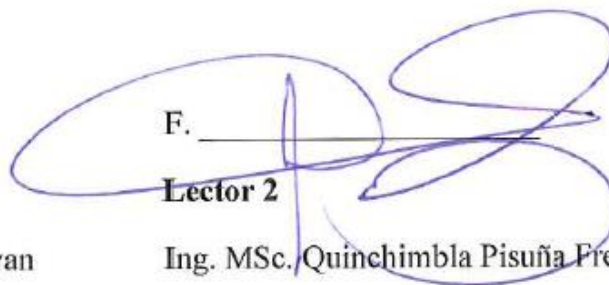
Latacunga, de febrero 2020

F. 

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. MSc Eugenio Pilliza Cristian Ivan

**CC: 172372747-3**

F. 

**Lector 2**

Ing. MSc. Quinchimbla Pisuña Freddy Eduardo

**CC: 171931050-8**

F. 

**Lector 3**

Ing. MSc. Herrera Tapia Milton Eduardo

**CC: 050150331-2**

## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Ambato, 28 de Enero del 2020

### CERTIFICADO

Por medio del presente Yo, Jaime Ramiro Cifuentes Zumbana identificado con CI.1801629229, en Calidad de Jefe de Producción de la empresa DAVMOTOR,CÍA. LTDA con RUC 1891720471001. Certifico que los señores, Aragón Pilco Bryan Jair con CI.160068928-3 y Villarreal Prado Johan Fernando con CI. 040163028-0 estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi realizaron en sus instalaciones el Proyecto investigativo para su titulación con el siguiente tema: **“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR CÍA. LTDA”**. Demostrando habilidades industriales en la producción de la Empresa y generando una propuesta alternativa hacia el mejoramiento continuo de nuestra prestigiosa Entidad.

Es todo en cuanto puedo certificar.

Atentamente



---

Jaime Ramiro Cifuentes Zumbana  
CI. 1801629229

## ÍNDICE

|  |       |
|--|-------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....                             | i     |
| AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....            | ii    |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....              | iii   |
| AVAL DE IMPLEMENTACIÓN .....                             | iv    |
| AGRADECIMIENTOS .....                                    | xiv   |
| DEDICATORIA .....  | xv    |
| RESUMEN.....   | xvi   |
| ABSTRACT .....   | xvii  |
| AVAL DE TRADUCCIÓN .....                                 | xviii |
| 1. INFORMACIÓN BÁSICA .....                              | 1     |
| 1.1. Propuesto por:.....                                 | 1     |
| 1.2. Tema aprobado: .....                                | 1     |
| 1.3. Carrera: .....                                      | 1     |
| 1.4. Director del proyecto de titulación: .....          | 1     |
| 1.5 Equipo de trabajo:.....                              | 1     |
| 1.6 Lugar de ejecución: .....                            | 1     |
| 1.7. Tiempo de duración del proyecto: .....              | 1     |
| 1.8. Fecha de entrega: .....                             | 1     |
| 1.9. Línea de investigación:.....                        | 2     |
| 1.10. Sub líneas de investigación de la carrera:.....    | 2     |
| 1.11. Tipo de propuesta tecnológica:.....                | 2     |
| 2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA..... | 2     |
| 2.1. Título de la propuesta tecnológica.....             | 2     |
| 2.2. Tipo de propuesta, alcance .....                    | 2     |
| 2.2.1. Desarrollo .....                                  | 2     |
| 2.3. Área del conocimiento.....                          | 3     |

|   |    |
|---|----|
| 2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica .....                                       | 3  |
| 2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....  | 4  |
| 2.5.1. Objeto de estudio .....  | 4  |
| 2.5.2. Campo de acción .....  | 4  |
| 2.6. Situación problemática y problema .....  | 4  |
| 2.6.1. Situación problemática .....   | 4  |
| 2.6.2. Problema.....  | 5  |
| 2.7. Hipótesis .....  | 5  |
| 2.7.1. Variable dependiente .....   | 6  |
| 2.7.2. Variable Independiente.....  | 6  |
| 2.8. Objetivos.....   | 6  |
| 2.8.1 Objetivo general. ....  | 6  |
| 2.8.2. Objetivos específicos.....   | 6  |
| 2.9 Descripción de las actividades y tareas con los objetivos establecidos.....       | 7  |
| 2.10. Beneficiarios .....   | 9  |
| 3. MARCO TEÓRICO .....  | 10 |
| 3.1 Antecedentes.....   | 10 |
| 3.2 Principales estudios e investigaciones realizadas relacionadas a la temática..... | 11 |
| 3.2.1. Estudio I.....   | 11 |
| 3.3.3. Estudio III .....  | 13 |
| 3.3.4. Estudio IV .....   | 14 |
| 3.3.5. Estudio V .....  | 15 |
| 3.3.6 Estudio VI.....   | 17 |
| 3.3.7 Estudio VII .....   | 20 |
| 3.3.8. Estudio VIII .....   | 23 |
| 3.3.9. Estudio IX.....  | 23 |
| 3.3.10. Estudio X .....   | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.11. Estudio XI.....   | 25 |
| 3.3. Principales referencias teóricas .....                                 | 26 |
| 3.3.1. Vibraciones Mecánicas.....   | 26 |
| 3.3.1.1. Clasificación de las vibraciones .....                             | 28 |
| 3.3.1.2. Representación de las vibraciones.....                             | 28 |
| 3.3.2. Elementos principales en la construcción de un bus .....             | 29 |
| 3.3.2.1. Chasis de un bus .....   | 29 |
| 3.3.2.2. Carrocería de un bus .....   | 30 |
| 3.3.3. Fuentes de transmisión de vibraciones en un bus.....                 | 31 |
| 3.3.3.1. Fuentes de excitación de vibraciones propias del bus .....         | 31 |
| 3.3.3.2. Fuentes de excitación de vibraciones ajenas del bus.....           | 32 |
| 3.3.4. Sistema de medición.....   | 35 |
| 3.3.4.1. Sensores.....  | 36 |
| 3.3.4.2. Transmisores.....  | 37 |
| 3.3.4.2.1. Protocolo ZigBee .....   | 39 |
| 3.3.4.2.2. Módulos XBee .....   | 41 |
| 3.3.4.3. Unidad de Procesamiento.....                                       | 43 |
| 3.3.4.3.1. Placa Arduino .....  | 44 |
| 3.3.4.4. Visualizadores.....  | 46 |
| 4. METODOLOGÍA.....   | 46 |
| 4.1. Enfoque.....   | 46 |
| 4.2. Tipo de investigación del proyecto.....                                | 47 |
| 4.3. Métodos .....  | 47 |
| 4.4. Solución al Problema.....  | 48 |
| 4.5. Procedimiento del proyecto .....                                       | 49 |
| 4.6. Análisis de toma de decisión para escoger una tecnología adecuada..... | 52 |
| 4.6.1. Evaluación de alternativa de protocolos de comunicación.....         | 54 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.6.2. Evaluación de alternativas de módulos de transmisión y recepción de datos .....  | 57        |
| 4.6.3. Evaluación de alternativas de Unidad Central para procesamiento de datos .....   | 60        |
| 4.6.4. Evaluación de alternativas para elección de elementos primarios o sensores ..... | 63        |
| 4.6.5. Construcción del medidor de vibraciones a partir de los elementos escogidos..... | 65        |
| 4.7. Análisis de comunicación entre módulos XBee S2 (Coordinador y Router).....         | 66        |
| 4.8. Configuración del XBee S2 en el Programa XCTU.....                                 | 71        |
| 4.9. Configuración y programación del programa Arduino (Algoritmo).....                 | 74        |
| 4.9.1. Declarar Variables .....   | 75        |
| 4.9.2. Método Setup.....  | 75        |
| 4.9.3. Método Loop .....  | 76        |
| 4.10. Algoritmo para el funcionamiento para la Interfaz Gráfica. ....                   | 77        |
| 4.11. Control Estadístico. ....   | 80        |
| 4.12. La encuesta. ....   | 80        |
| 4.12. Materiales Utilizados.....  | 81        |
| <b>5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>                                      | <b>82</b> |
| 5.1. Objetivo 1 .....   | 82        |
| 5.2. Objetivo 2 .....   | 83        |
| 5.3. Objetivo 3 .....   | 84        |
| 5.3.1. Funcionamiento del sistema de visualización y registro de vibraciones.....       | 84        |
| 5.3.1.1. Prueba piloto.....   | 84        |
| 5.3.1.2. Programa Arduino .....   | 84        |
| 5.3.1.3. Interfaz Gráfica.....  | 85        |
| 5.3.1.4. Informe .....  | 86        |
| 5.4. Objetivo 4 .....   | 87        |
| 5.4.1. Encuesta a personas involucradas en el proceso de control de calidad. ....       | 87        |
| 5.4.2. Generación de gráficos de control a partir de los datos registrados .....        | 90        |
| 5.4.3. Comentario por parte de los representantes de la organización. ....              | 91        |

|  |     |
|--|-----|
| 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS .....        | 92  |
| 6.1. Presupuesto.....                              | 92  |
| 6.1.1. Costos Indirectos .....                     | 93  |
| 6.1.2. Costos Directos.....                        | 94  |
| 6.1.3. Resumen de Costos (Presupuesto Total) ..... | 95  |
| 6.2. Análisis de Impactos.....                     | 96  |
| 6.2.1. Impacto Práctico .....                      | 96  |
| 6.2.2. Impacto Simbólico.....                      | 96  |
| 6.2.3. Impacto Tecnológico .....                   | 96  |
| 6.2.4. Impacto Ambiental .....                     | 97  |
| 6.2.5. Impacto Epistemológico .....                | 97  |
| 7. CONCLUSIONES.....                               | 98  |
| 8. RECOMENDACIONES. ....                           | 99  |
| 9. REFERENCIAS .....                               | 100 |
| ANEXOS.....  | 103 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2.1.</b> Descripción de actividades y resultados para los objetivos planteados.....          | 7  |
| <b>Tabla 2.2.</b> Beneficiarios del proyecto .....  | 9  |
| <b>Tabla 3.1.</b> Metodología para la monitorización de rebaños de ganado bovino .....                | 17 |
| <b>Tabla 3.2.</b> Parámetros utilizados en el simulador .....   | 19 |
| <b>Tabla 3.3.</b> Magnitudes y unidades físicas de las vibraciones .....                              | 29 |
| <b>Tabla 3.4.</b> Especificaciones del sensor piezoeléctrico de vibración analógico .....             | 37 |
| <b>Tabla 3.5.</b> Comparación entre las redes Wii-fi, Bluetooth y ZigBee. ....                        | 39 |
| <b>Tabla 3.6.</b> Descripción de los dispositivos que posee la tecnología ZigBee. ....                | 41 |
| <b>Tabla 3.7.</b> Especificaciones técnicas del XBee Series 2.....                                    | 43 |
| <b>Tabla 3.8.</b> Principales cualidades de un procesador .....                                       | 43 |
| <b>Tabla 4.1.</b> Descripción del procedimiento para la elaboración de la propuesta tecnológica. .... | 51 |
| <b>Tabla 4.2.</b> Análisis de confrontación de columnas y filas de criterios .....                    | 53 |
| <b>Tabla 4.3.</b> Comparativa de protocolos de comunicación.....                                      | 54 |
| <b>Tabla 4.4.</b> Método ordinal de criterios ponderados para escoger protocolos de comunicación      | 55 |
| <b>Tabla 4.5.</b> Método de factor ponderado para elección de un protocolo de comunicación .....      | 56 |
| <b>Tabla 4.6.</b> Comparativa entre módulos XBee para asignación de puntajes.....                     | 57 |
| <b>Tabla 4.7.</b> Método ordinal de criterios ponderados para escoger módulos de comunicación ...     | 59 |
| <b>Tabla 4.8.</b> Método de factores ponderados para elección de módulos de comunicación .....        | 59 |
| <b>Tabla 4.9.</b> Comparativa de unidades centrales de procesamiento .....                            | 60 |
| <b>Tabla 4.10.</b> Método ordinal de criterios ponderados para elección de CPU .....                  | 61 |
| <b>Tabla 4.11</b> Factores ponderados para la elección de una unidad central de procesamiento.....    | 62 |
| <b>Tabla 4.12.</b> Comparativa entre sensores de vibración .....                                      | 63 |
| <b>Tabla 4.13.</b> Método ordinal de criterios ponderados para elección de sensores de vibración...   | 64 |
| <b>Tabla 4.14.</b> Factores ponderados para la elección de sensores de vibración .....                | 64 |
| <b>Tabla 4.15.</b> Descripción de componentes electrónicos elegidos .....                             | 66 |
| <b>Tabla 4.16.</b> Comparación entre sistemas binarios, decimal y hexadecimal .....                   | 67 |
| <b>Tabla 4.17.</b> Descripción de estructura de trama API.....  | 70 |
| <b>Tabla 4.18.</b> Descripción de parte FrameData de la estructura de trama API.....                  | 70 |
| <b>Tabla 4.19.</b> Parámetros modificados para comunicación de módulos XBee S2 en XCTU.....           | 71 |
| <b>Tabla 4.20.</b> Declaración de variables del código de programa en Arduino.....                    | 75 |
| <b>Tabla 4.21.</b> Codificación del método setup (void setup ()) del código del programa Arduino .    | 76 |
| <b>Tabla 5.1.</b> Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo uno.....                  | 82 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 5.2.</b> Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo dos .....      | 83 |
| <b>Tabla 5.3.</b> Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo tres .....     | 84 |
| <b>Tabla 6.1.</b> Obtención del costo total de mano de obra .....                          | 93 |
| <b>Tabla 6.2.</b> Obtención del costo total de logística (alimentación y transporte) ..... | 94 |
| <b>Tabla 6.3.</b> Obtención del costo total de recursos técnicos .....                     | 94 |
| <b>Tabla 6.4.</b> Resumen de costos .....  | 95 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.1.</b> Analizador de vibraciones mecánicos ADQ .....                                      | 11 |
| <b>Figura 3.2.</b> Comparación del sistema de suspensión en modo transporte y modo rígido. ....       | 12 |
| <b>Figura 3.3.</b> Señales en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia (espectro). .... | 13 |
| <b>Figura 3.4.</b> Etapas de medición para el análisis de vibraciones .....                           | 14 |
| <b>Figura 3.5.</b> Proceso para graficar señales .....  | 15 |
| <b>Figura 3.6.</b> Curva de señal de osciloscopio para calibración .....                              | 16 |
| <b>Figura 3.7.</b> Infraestructura de monitorización .....  | 18 |
| <b>Figura 3.8.</b> Arquitectura de la red para monitoreo de arroyo .....                              | 21 |
| <b>Figura 3.9.</b> Transmisión y recepción de datos .....   | 21 |
| <b>Figura 3.10.</b> Variación ambiental registrada en el nodo 6.....                                  | 22 |
| <b>Figura 3.11.</b> Sistema sensores conectados a los módulos XBee. ....                              | 24 |
| <b>Figura 3.12.</b> Modelo de un sistema de RF para el análisis de Vibraciones.....                   | 25 |
| <b>Figura 3.13.</b> Plataforma de configuración de red punto a punto con XBee en XCTU.....            | 26 |
| <b>Figura 3.14.</b> Clasificación y subclasificación de las vibraciones .....                         | 27 |
| <b>Figura 3.15.</b> Estructura general de un chasis.....  | 30 |
| <b>Figura 3.16.</b> Carrocería en salida de proceso de pintura .....                                  | 31 |
| <b>Figura 3.17.</b> Ciclos de trabajo de un motor de encendido por compresión .....                   | 32 |
| <b>Figura 3.18.</b> Fuentes de excitación de vibraciones mecánicas en un bus.....                     | 33 |
| <b>Figura 3.19.</b> Proceso de transmisión de vibraciones en un bus .....                             | 34 |
| <b>Figura 3.20.</b> Causas de aumento de vibraciones en fuentes propias al vehículo.....              | 35 |
| <b>Figura 3.21.</b> Sistema de medición .....   | 36 |
| <b>Figura 3.22.</b> Sensor piezoeléctrico de vibración analógico KY0138. ....                         | 37 |
| <b>Figura 3.23.</b> Proceso de la transferencia de datos. ....  | 38 |
| <b>Figura 3.24.</b> Tipos de redes de conexión que soporta ZigBee .....                               | 40 |
| <b>Figura 3.25.</b> Módulo XBee Series 2 .....  | 41 |
| <b>Figura 3.26.</b> Placa Arduino UNO .....   | 44 |
| <b>Figura 4.1.</b> Estructura y componentes físicas de la propuesta.....                              | 49 |
| <b>Figura 4.2.</b> Flujograma del procedimiento para el desarrollo del proyecto.....                  | 50 |
| <b>Figura 4.3.</b> Disposición y conexión general de componentes de la propuesta tecnológica.....     | 65 |
| <b>Figura 4.4.</b> Modo de operación AT .....   | 68 |
| <b>Figura 4.5.</b> Modo de operación API .....  | 68 |
| <b>Figura 4.6.</b> Comandos AT para la recepción en la trama API.....                                 | 69 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 4.7.</b> Trama API.....   | 70 |
| <b>Figura 4.8.</b> Configuración de los módulos XBee en modo router.....                            | 72 |
| <b>Figura 4.9.</b> Configuración del módulo XBee en modo coordinador .....                          | 73 |
| <b>Figura 4.10.</b> Topología de la red .....   | 73 |
| <b>Figura 4.11.</b> Flujograma del programa Arduino.....  | 74 |
| <b>Figura 4.12.</b> Código del Programa Arduino .....   | 77 |
| <b>Figura 4.13.</b> Pantalla de visualización.....  | 78 |
| <b>Figura 4.14.</b> Flujograma de funcionamiento de la interfaz gráfica .....                       | 79 |
| <b>Figura 4.15.</b> Cálculo del límite de control superior.....                                     | 80 |
| <b>Figura 4.16.</b> Lista de materiales utilizados en el proyecto .....                             | 81 |
| <b>Figura 5.1.</b> Lectura de los datos en el monitor serie de Arduino.....                         | 85 |
| <b>Figura 5.2.</b> Funcionamiento de la interfaz gráfica en tableros del bus interprovincial .....  | 86 |
| <b>Figura 5.3.</b> Informe creado a partir de los resultados obtenidos en la prueba de ruta.....    | 87 |
| <b>Figura 5.4.</b> Tabulación de preguntas referentes al proceso actual.....                        | 88 |
| <b>Figura 5.5.</b> Tabulación pregunta 4.....   | 88 |
| <b>Figura 5.6.</b> Tabulación de preguntas referentes al proceso con la propuesta implementada .... | 89 |
| <b>Figura 5.7.</b> Resultado de la encuesta .....   | 90 |
| <b>Figura 5.8.</b> Gráficos de dispersión de la prueba. ....  | 91 |

## **AGRADECIMIENTOS**

Termina una etapa de mi vida. Familia les agradezco por darme su apoyo incondicional, por su forma de enseñarme longanimidad, gracias a ustedes que fueron los cimientos de este logro en mi vida y creyeron siempre en mí desde el primer día, a mi madre, a mi padre, a mi hermana, a mis tías, a mis tíos, a mis primos, y a mis primas, Gracias por su apoyo, los amo.

*Bryan Aragón*

La vida brinda la oportunidad de conocer personas y lugares maravillosos, un sempiterno agradecimiento a mi familia y a mis seres queridos por forjar este camino junto a mí y demostrarme que el apoyo incondicional de verdad existe. Las etapas estudiantiles traen consigo las enseñanzas como un fuerte académico y ético, agradecido con las instituciones educativas que me abrieron sus puertas.

*Johan Villarreal*

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a mis padres y a mi hermana que son la esencia de mi vida, de mi esfuerzo y el detonante de mi superación.

*Bryan Aragón*

A mi madre doña Geoconda Prado, por ser la persona ejemplo de superación constante y la bendición más importante en mi vida. A mi padre don José Villarreal por demostrarme que los sueños se cumplen y encaminar adecuadamente mi horizonte. A todas las personas que me apoyaron en este proceso y desean el bien para mí, gracias por su incondicional apoyo.

*Johan Villarreal*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.**

**TÍTULO:** “PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR CÍA. LTDA.”

**Autores:** Aragón Bryan & Villarreal Johan

**RESUMEN**

La propuesta tecnológica planteada está enfocada al desarrollo y creación de un sistema de medición que permite detectar las vibraciones producidas en puntos estratégicos de la carrocería en unidades interprovinciales, que debido a la carencia de históricos fueron escogidos mediante una encuesta aplicada al supervisor de calidad de la empresa DavMotor Cía. Ltda., la finalidad de la propuesta es que el proceso interno de control de calidad genere valores cuantitativos y cualitativos con respecto al producto terminado. El desarrollo de la propuesta es necesario debido al alto índice de unidades interprovinciales que vuelven a planta por un proceso de reajuste de fallos cubiertos por garantías de fabricación, que en el año 2019 ascendió a un 42% y se lleva a cabo mediante una investigación explicativa con un enfoque mixto; para el sistema de medición se utilizó sensores piezoeléctricos y módulos XBee de radiofrecuencia para poder transmitir la información, todos estos componentes se basan en el estándar IEEE 802.15.4. creando así una red multipunto con la ayuda del software XCTU, la información es procesada por la placa Arduino UNO y visualizada en una interfaz gráfica que permite guardar el historial del sistema de medición en una extensión de archivo XLS. El desarrollo de pruebas constantes permitió determinar el límite de control para los puntos estratégicos de medición, creando así una medida de referencia (LCS), de igual manera se desarrolló una prueba con la propuesta planteada en una unidad interprovincial, con la ayuda de una plantilla en Excel se generó el primer informe donde se detalla el comportamiento de los puntos de medición, por consiguiente se midió el impacto que tuvo para los encargados del departamento de calidad esta primera prueba con el sistema de medición propuesto, dando como resultado una aceptación positiva de la propuesta planteada con respecto al proceso actual, el proyecto brindará una trazabilidad sobre el proceso de control interno de calidad y de esta manera ayudará a la futura toma de decisiones.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.**

**THEME:** “PROPOSAL OF AUTOMATION OF QUALITY CONTROL TEST OF FINISHED PRODUCT IN THE COMPANY DAVMOTOR CÍA. LTDA..”

**Authors:** Aragón Bryan & Villarreal Johan

**ABSTRACT**

The present proposed technological is focused on the development and creation of a measurement system that allows to detect the vibrations produced at strategic points of the bodywork in interprovincial units, which due to the lack of historical data were chosen through a survey applied to the quality supervisor of the company DavMotor Cía. Ltda., The finality of the proposal is that the internal quality control process generates quantitative and qualitative values with respect to the finished product. The development of the proposal is necessary due to the high rate of interprovincial units that return to the industrial plant through a process of readjustment of failures covered by manufacturing guarantees, which in the year 2019 amounts to 42% and is carried out through a explanatory research with a quantitative and qualitative approach. Piezoelectric sensors and XBee radiofrequency modules are used for the measurement system to transmit the information, all these components are based on the IEEE 802.15.4 standard. To create a multipoint network with the help of the XCTU software, the information is processed by the Arduino UNO board and displayed in a graphical interface that allows the measurement system history to be saved in an XLS file extension. The development of constant tests allowed to determine the control limit for the strategic measurement points, for a reference measurement (LCS), in the same way a test was developed with the proposal presented in an interprovincial unit, with the help of a programming in Excel generated the first report detailing the behavior of the measurement points, therefore the impact that this first test had on the quality department was measured with the proposed measurement system, resulting in a positive acceptance of the Proposal presented with respect to the current process, the project will provide traceability on the process of internal quality control and thus help future decision making.

# AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: ARAGÓN PILCO BRYAN JAIR y VILLARREAL PRADO JOHAN FERNANDO**, cuyo título versa **“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR CÍA. LTDA.”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,



Lic. Alison Mena Barthelotty, MSc.  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 0501801252**



## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **1.1. Propuesto por:**

Bryan Jair Aragón Pilco

Johan Fernando Villarreal Prado

### **1.2. Tema aprobado:**

Propuesta de automatización de prueba de control de calidad de producto terminado en la empresa DavMotor Cía. Ltda.

### **1.3. Carrera:**

Ingeniería Industrial

### **1.4. Director del proyecto de titulación:**

Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

### **1.5 Equipo de trabajo:**

Estudiante: Bryan Jair Aragón Pilco.

Estudiante: Johan Fernando Villarreal Prado

Tutor: Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

### **1.6 Lugar de ejecución:**

Región: Sierra

Provincia: Tungurahua

Cantón: Ambato

Parroquia: Cunchibamba

### **1.7. Tiempo de duración del proyecto:**

4 meses

### **1.8. Fecha de entrega:**

20 de febrero

### **1.9. Línea de investigación:**

Procesos industriales

### **1.10. Sub líneas de investigación de la carrera:**

Gestión integrada de la calidad y mejoramiento continuo

### **1.11. Tipo de propuesta tecnológica:**

Se desarrolla una propuesta innovadora

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Propuesta de automatización de prueba de control de calidad de producto terminado en la empresa DavMotor Cía. Ltda.

### **2.2. Tipo de propuesta, alcance**

El alcance que tiene el presente estudio es interdisciplinar, permitiendo evaluar situaciones de calidad a partir de la integración de componentes electrónicos que permiten cuantificar valores para ser interpretados por el ser humano, además genera el desarrollo de tecnologías, usando la integración de investigaciones y componentes ya existentes para ser adaptados al estudio.

#### **2.2.1. Desarrollo**

La empresa DavMotor Cía. Ltda., se dedica a la fabricación y venta de carrocerías de buses, la empresa cuenta con un departamento de calidad por donde las carrocerías pasan un proceso de inspección antes de salir a su venta, este departamento tiene como finalidad asegurar la calidad del producto, sin embargo, la falta de equipo tecnológico limita la capacidad de este departamento.

En el Ecuador hasta la actualidad no existen empresas de carrocerías que cuenten con pruebas de calidad dentro de su organización, en este caso existe un laboratorio donde se realizan dichas pruebas de una manera externa, es decir las empresas afines a esta producción tienen que pagar para realizar pruebas y así conseguir un certificado de calidad.

La propuesta debe por ello satisfacer las necesidades de la organización centrándose en el departamento de calidad y generando pruebas que ayuden a evidenciar el buen producto de la organización y de esta manera generar calidad mediante los conocimientos adquiridos.

En el presente trabajo se propone un ensayo de vibraciones en puntos estratégicos de la carrocería de la unidad tipo interprovincial en la empresa DavMotor Cía. Ltda., a fin de determinar imperfecciones en ajustes y sellado de ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros (canastillas).

### **2.3. Área del conocimiento**

En conformidad a la clasificación internacional normalizada de la educación, CINE – UNESCO el área de conocimiento en la que se encuentra guiada esta propuesta tecnológica es Ingeniería, industria y construcción, y la sub-área indicada es Ingeniería y profesiones afines.

### **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

El estudio en mención elabora un hardware y software para determinar vibraciones en puntos estratégicos de la carrocería del bus interprovincial, para así enriquecer el control de calidad en el producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

La propuesta tecnológica busca elaborar un sistema que permita medir vibraciones para monitorear el ajuste y sellado de ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros del bus interprovincial en el área de producto terminado de la empresa, el estudio puede aportar a procesos de fabricación, mantenimiento y en este caso controles de calidad de producto terminado, todo esto con el fin de garantizar una unidad confiable y de calidad, para que el cliente final no vuelva por un reajuste (por fallas de fábrica que cubren garantías), y así reducir las no conformidades y los costos que estas traen consigo.

El sistema de medición de vibraciones pretende desarrollar una aplicación para el registro y monitoreo de los datos obtenidos en tiempo real, además de generar una base de datos en formato “xls” para ser analizados luego de la prueba de ruta y lograr la emisión de un informe, la propuesta será optimizada y automatizada en todos los puntos o actividades posibles.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Los procesos de calidad en el producto terminado de las carrocerías dentro de la empresa DavMotor Cía. Ltda., son realizados de manera empírica, utilizando los órganos sensoriales (audición, vista, tacto) de los operarios, todo esto genera que el control de calidad mencionado no tenga garantías y por ende no sea confiable; la propuesta de pruebas de análisis de vibraciones perfeccionará el control de calidad realizado en el proceso productivo de la empresa, determinando errores de ajuste y sellado en puntos estratégicos de la unidad interprovincial como producto terminado de la empresa en mención. La propuesta tecnológica se realizará durante un tiempo de cuatro meses.

### **2.5.2. Campo de acción**

La propuesta del sistema de medición de vibraciones se basa en el estudio y análisis de estas en puntos estratégicos del bus interprovincial (ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros), esto permitirá determinar fallos comunes a los cuales se les asignará medidas correctivas, se hará uso de conocimientos de calidad, control e instrumentación industrial que permitirán determinar el equipo tecnológico idóneo para las mediciones, al igual que plantear la lógica adecuada y óptima para el funcionamiento de la prueba de vibraciones y el correcto desarrollo de plantillas para emisión de informes de aprobación a partir de datos medidos.

## **2.6. Situación problemática y problema**

### **2.6.1. Situación problemática**

DavMotor Cía. Ltda., es una empresa encargada del ensamble de buses, la calidad de estas unidades es fundamental para establecer una buena imagen de la organización, por ende, posee distintos controles de calidad internos y externos que permiten dar una certificación y garantizar que el bus esté en las condiciones óptimas para salir al mercado. La organización no cuenta con varios de los equipos e instrumentos necesarios para la evaluación y el respectivo análisis de los vehículos, es ahí donde nace la importancia de considerar la propuesta de un sistema automatizado de monitoreo de vibraciones en ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros (canastillas) para las pruebas de calidad dentro del bus interprovincial, que permitan generar un producto de mejores características técnicas.

Según el CADME (Centro de Apoyo al Desarrollo Metalmecánico), quienes son los encargados de la evaluación de carrocerías de transporte, mencionan que, para poder tener un producto de calidad los vehículos de transporte deben proteger la vida y seguridad de las personas, de la misma manera al ambiente y a la propiedad y sobre todo asegurar que las fallencias técnicas de fabricación no puedan inducir a un accidente.

En la actualidad en DavMotor Cía. Ltda., los procesos de pruebas de calidad se dan de manera manual y empírica, es decir los procesos de control hoy en día no están totalmente definidos y hace falta una alternativa como el sistema de medición de vibraciones propuesto. Debido a esto y a la importancia que tiene poseer un producto de calidad para generar competencia se realiza el sistema de medición de vibraciones para el área de producto terminado de la empresa, con el propósito de generar una herramienta tecnológica y confiable que permita apoyar la calidad del bus interprovincial.

### **2.6.2. Problema**

Tomando en cuenta el registro de OP's (órdenes de producción) que han sido sometidas a reajuste se determina que la cantidad de unidades interprovinciales que presentaron defectos en el sellado y ajuste de ventanas, puertas, tableros, bodegas y maleteros respectivamente y por ende regresaron hacia la planta a corregir fallos que son cubiertos por la garantía de fabricación y ensamble de la carrocería en la empresa DavMotor Cía. Ltda. en el año 2019 fueron ocho con respecto a su producción real anual de diecinueve buses, representando un cuarenta y dos por ciento de dicha producción, además de recibir quejas de sus clientes y por ende una mala reputación. Es por eso que la importancia de esta propuesta radica en proporcionar a la organización una herramienta de análisis y detección de las fallas que tengan las carrocerías principalmente en el sellado y ajuste de puntos estratégicos de la misma en los buses interprovinciales, a fin de evitar no conformidades con respecto al cliente, al igual que gastos y costes por reparación de garantía. Esta propuesta tecnológica se llevará a cabo en el sector de Cunchibamba.

### **2.7. Hipótesis**

La prueba de control de calidad automatizada mediante un sistema de medición de vibraciones permitirá generar controles cuantitativos al momento de determinar imperfecciones de ajuste y sellado dentro de la carrocería del bus interprovincial en el área de producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

### **2.7.1. Variable dependiente**

Determinación de imperfecciones de ajuste y sellado dentro del bus interprovincial

### **2.7.2. Variable Independiente**

Sistema de medición de vibraciones

## **2.8. Objetivos.**

### **2.8.1 Objetivo general.**

Proponer un sistema de automatización de prueba de control de calidad en el área de producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

### **2.8.2. Objetivos específicos.**

- Analizar los dispositivos electrónicos más viables para la implementación de un sistema de monitoreo de sellado y ajuste en puntos estratégicos del bus interprovincial.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrica para la recepción y transmisión de datos de vibración obtenidos durante el proceso de monitoreo de sellado y ajuste en la unidad tipo interprovincial.
- Diseñar el sistema de registro y visualización de vibraciones en tiempo real, que permitan la ejecución del monitoreo de las pruebas de sellado y ajuste en los buses interprovinciales.
- Evaluar el impacto que tiene la propuesta tecnológica en el proceso de calidad de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

## 2.9 Descripción de las actividades y tareas con los objetivos establecidos

**Tabla 2.1.** Descripción de actividades y resultados para los objetivos planteados

| Objetivo   | Actividades   | Resultados   | Medios de Verificación  |
|--|---|--|---|
| <b>Analizar los dispositivos electrónicos más viables para la implementación de un sistema de monitoreo de sellado y ajuste en puntos estratégicos del bus interprovincial.</b>                                  | Recopilación de información acerca de estudios relacionados a la temática, analizando los materiales usados y sus tecnologías asociadas, describiendo de igual manera definiciones básicas.   | Elaboración de breves síntesis de estudios relacionados al tema propuesto.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Documentación de estudios realizados similares al tema propuesto.</li> <li>- Documentación de definiciones básicas de diferentes sistemas usados en el estudio propuesto.</li> </ul>   |
|  | Generación de matriz de decisiones para la elección de los materiales óptimos a usarse en la propuesta de automatización del proceso de control de calidad, enfocado al análisis de imperfecciones en el sellado y ajuste del bus interprovincial como producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda. | Utilización de metodologías para la elección de los materiales a usarse en la medición, comunicación y visualización de vibraciones respectivamente. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Información documentada del funcionamiento del método de decisión utilizado.</li> <li>- Tablas de comparación y de decisiones para elección de dispositivos electrónicos a usarse dentro de la propuesta tecnológica.</li> </ul> |
| <b>Implementar un sistema de comunicación inalámbrica para la recepción y transmisión de datos de vibración obtenidos durante el proceso de monitoreo de sellado y ajuste en la unidad tipo interprovincial.</b> | Utilización de un sistema adecuado para la transmisión y recepción de datos, guiando el estudio hacia una red multipunto.   | Búsqueda y cotización de dispositivos tecnológicos para conexión inalámbrica multipunto.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilustración de conexión de dispositivos electrónicos usados en la propuesta tecnológica.</li> <li>- Presupuesto del sistema de monitoreo y registro de vibraciones en los buses interprovinciales.</li> </ul>                    |
|  | Parametrización y programación de una red multipunto para el uso correcto en la propuesta.  | Uso de softwares adecuados y compatibles con la tecnología ocupada, al igual que correcto empleo de herramientas de programación.                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de flujo del programa del CPU.</li> <li>- Parametrización de módulos de comunicación.</li> <li>- Topología de la red multipunto.</li> </ul>   |

**Diseñar el sistema de registro y visualización de vibraciones en tiempo real, que permitan la ejecución del monitoreo de las pruebas de sellado y ajuste en los buses interprovinciales.**

Análisis del software o aplicación acorde para el registro y figuración de los datos obtenidos del sistema de medición.

Empleo de programación gráfica para visualización y registro de datos.

- Diagrama de flujo de la interfaz gráfica.
- Documentación del registro de datos obtenido durante el tiempo de medición de vibraciones.

Verificación del sistema de visualización y registro de datos de vibración.

Prueba de funcionamiento del sistema de visualización y registro de vibraciones.

- Fotografías.
- Figuras.
- Documento en formato xls.
- Resumen de resultados.

**Evaluar el impacto que tiene la propuesta tecnológica en el proceso de calidad de la empresa DavMotor Cía. Ltda.**

Determinación del efecto causado en el proceso de calidad de la empresa por el medidor de vibraciones propuesto.

Encuesta a las cuatro personas involucradas en el proceso de control de calidad dentro de la empresa.

- Documentación de encuesta con el personal involucrado en el proceso.
- Información documentada de comparativa a partir de encuestas del proceso, con y sin el monitoreo de vibraciones.

Análisis del documento en formato .xls obtenido del registro de datos del medidor de vibraciones para monitoreo de sellado y ajuste en buses interprovinciales.

Generación de gráficos de control que pueden usarse a partir de los datos leídos y registrados por el componente receptor del sistema propuesto.

- Documentación de datos y gráficos de control.
- Figuras.
- Informe.

## 2.10. Beneficiarios

**Tabla 2.2.** Beneficiarios del proyecto

| <b>Beneficiario</b>  | <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b>                           |
|--|--|---|
| <b>Propietario de la empresa. (Sr. David Paredes).</b>                           | Se beneficiará, ya que su empresa contará con una propuesta de monitoreo de ajuste y sellado en el bus interprovincial (producto terminado), esto mejorará su reputación como organización, permitirá captar más clientes y reducir gastos extras.   | 1   |
| <b>Personal gubernamental y administrativo de la empresa DavMotor Cía. Ltda.</b> | El medidor de vibraciones para monitoreo de ajuste y sellado en buses interprovinciales permitirá mantener y establecer un control interno y al mismo tiempo generar bases de datos e informes para respaldar con documentos el proceso de calidad. Departamento de calidad, márketing, y talento humano se pueden beneficiar de la propuesta tecnológica.   | 7   |
| <b>Personal de operación o producción de la empresa DavMotor Cía. Ltda.</b>      | El maestro (jefe de obra) del área de sellado y ajuste conjuntamente con sus operarios se verán beneficiados, ya que podrán mediante el informe de resultados generado por el registro de datos del medidor de vibraciones garantizar su trabajo, convirtiéndose en una herramienta de mejora continua. Además el jefe de planta conjuntamente con sus colaboradores podrán determinar el proceso crítico en el ámbito de sellado y ajuste, es decir definir el componente que más quita calidad al producto terminado y aplicar medidas de reajuste dentro de este. | 9   |
| <b>BENEFICIARIO</b>  | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>CANTIDAD</b>                           |
| <b>Cientes Externos</b>  | Los clientes resultan beneficiados, ya que podrán receptor una unidad con pocas fallas y con alta calidad, y así evitar pérdidas de tiempo y por ende económicas al momento de volver a la planta industrial por un daño de fábrica.   | 19 clientes al año                        |
| <b>Usuarios de buses interprovinciales</b>                                       | Los usuarios de los buses interprovinciales tendrán mayor confort dentro de la unidad (menos ruido, estabilidad térmica)   | En función a la cooperativa de transporte |

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes**

La tecnología ha ido creciendo constantemente, cada día yace la invención de nuevas maneras de satisfacer necesidades de personas, empresas, transporte terrestre, aéreo, marítimo entre otras más, la industria ha ido evolucionando constantemente durante toda su historia, siendo la revolución industrial uno de los acontecimientos que marcaron la transformación de la producción de baja a escala a la producción en masa.

El período de 1850 a 1913 se caracterizó por la consolidación y expansión de las industrias como acero, petróleo y electricidad para sustentar la producción a escala industrial; esta sería la segunda revolución industrial. La tercera revolución o revolución digital (1980 – 2012) trajo consigo la electrónica, telecomunicaciones y todo lo relacionado con las tecnologías de la información (dispositivos electrónicos, computadores personales e internet). La cuarta revolución industrial se caracteriza por varios elementos, a saber. El primero, es que va de la mano con la tercera, ya que en teoría sigue vigente. [1, p. 28]

La era digital ha permitido la optimización mediante la automatización de procesos y cada vez es más viable utilizar tecnologías que permitan la intercomunicación y análisis de datos evitando el cableado, la tecnología bluetooth en ambientes de corto alcance, la tecnología Wireless para redes complejas de largo rango y con páginas web de almacenamiento de datos, además la tecnología de zigbee que permite realizar redes de largo alcance con muchos dispositivos conectados simultáneamente; de esta manera la industria se ha ido adentrando en la utilización de muchas tecnologías que permiten realizar tareas de manera más sencilla, eficiente y exacta.

Si bien existen ciertas diferencias en las acepciones para connotar el advenimiento de esta cuarta revolución industrial (Industry 4.0, Smart Factory, Industrial Internet), existe coincidencia en que se trata de procesos de automatización inteligente de las industrias manufactureras que implica la interconexión de partes sensibles de las empresas de modo que esta mejore su adaptabilidad mediante procesos de inteligencia artificial donde convergen los sistemas ciberfísicos a los sistemas de producción industriales [2, p. 57]

A continuación se detallan estudios realizados referentes a la propuesta tecnológica, esto permite la compilación de información para la validación de la propuesta con un enfoque analítico.

### 3.2 Principales estudios e investigaciones realizadas relacionadas a la temática

#### 3.2.1. Estudio I

Este estudio se denomina “Medición de vibraciones mecánicas en un bus de transporte de pasajeros y sus efectos en la salud y el confort mediante la norma ISO 263”, a continuación se detalla una breve reseña sobre el mismo.

Las vibraciones mecánicas son causadas por distintos tipos de máquinas, entre estas se encuentran los motores de combustión interna que poseen los buses que circulan a diario en las calles y carreteras de las ciudades del Ecuador, dichas vibraciones son transmitidas por todos los elementos que componen un bus, empezando por su chasis hasta llegar a los componentes que forman su carrocería, las fuentes de vibración pueden ser propias o ajenas al bus, dependiendo si proviene del motor, el sistema de tracción/transmisión, las uniones de los neumáticos o del estado del terreno en el que se encuentre circulando el bus, de igual manera los buses son fabricados con distintos componentes que atenúan las vibraciones, entre los principales para cumplir este proceso se encuentra el sistema de suspensión. La unión de todos estos factores provoca que las vibraciones lleguen hacia las personas o usuarios ocupantes del bus y generen una incomodidad cinética vibratoria en ellos, debido a esto la medición con instrumentos como el analizador de señal de vibraciones mecánicas marca ADQ (Figura 3.1.), y los acelerómetros modelo Wilcoxon Research 782 junto a softwares que permitan el análisis de vibraciones son muy necesarios para realizar comparativas con la norma ISO 2631 y así lograr implementar acciones correctivas y mantenimientos continuos hacia las distintas unidades de buses, al igual que a las calles de las ciudades, ya que en este estudio se concluyó que las vibraciones recibidas por los usuarios en superficies de piso adoquinado reparado y asfalto provocan niveles de sensaciones extremadamente molestas [3].



**Figura 3.1.** Analizador de vibraciones mecánicas ADQ

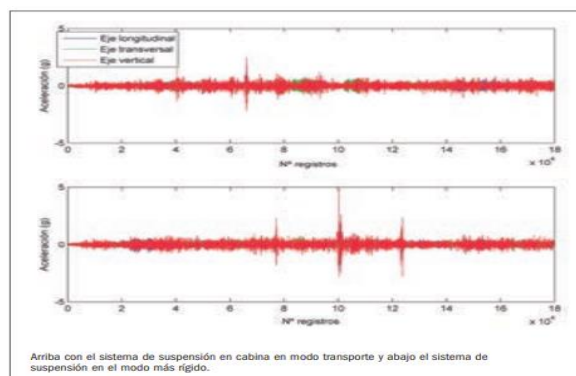
**Fuente:** [3, p. 70]

### 3.2.2. Estudio II

En esta investigación llamada “John Deere 6215R, sobresaliente en el análisis de vibraciones” se analiza la información principal mencionada a continuación.

John Deere es una marca comercial de maquinaria agrícola que en este caso evaluaría su calidad en una prueba de campo a su modelo 6215R, promoviendo el uso de instrumentos de medición y análisis, como lo manifiestan [4] “Se han realizado tres tipos de determinaciones: georreferenciación con DGPS, registro de datos de la TECU (sólo a lo largo de las besanas) y análisis de vibraciones mediante acelerómetros uniaxiales y triaxiales, estratégicamente colocados en el tractor”. De esta manera John Deere asegura la calidad de sus equipos sometidos a pruebas con carga, sin carga, con suspensión regulada (rígida y suave) y en diferentes terrenos generalmente adversos, los análisis de vibraciones poseen un estudio realizado con anterioridad como lo afirman [4] “La colocación estratégica de estos sensores permite la cuantificación de las vibraciones a las que se ve sometido el operador durante el desarrollo de las tareas agrícolas”, además el análisis de vibraciones es usado para determinar el estado del sistema de suspensión que es el encargado de atenuar las aceleraciones longitudinales, en este estudio se determinó que en maquinaria agrícola de este modelo “La regulación óptima del sistema de suspensión no sólo elimina los impactos extremos, sino que también atenúa las vibraciones de nivel intermedio en todas las direcciones y especialmente en el plano vertical” [4].

Los resultados son evidentes, como lo muestra la Figura 3.2 las vibraciones mecánicas de esta maquinaria con el apero suspendido muestran que la intensidad de las aceleraciones longitudinales en el eje vertical registradas tiene picos más altos en el modo de suspensión rígido, por lo que John Deere propone usar la maquinaria en modo transporte a fin de reducir dichas vibraciones.



**Figura 3.2.** Comparación del sistema de suspensión en modo transporte y modo rígido.

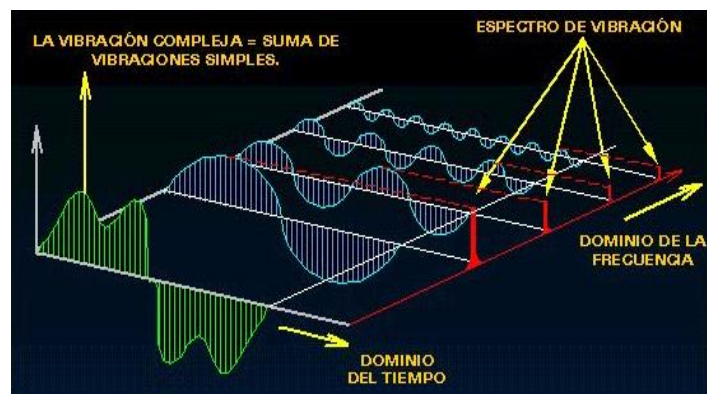
**Fuente:** [4]

### 3.3.3. Estudio III

A continuación se detalla información sobre el estudio denominado “Análisis de vibraciones: una herramienta clave en el mantenimiento predictivo”.

Como lo menciona [5] “El mantenimiento predictivo aplica técnicas no destructivas en las máquinas para predecir cuándo requieren operaciones de reparación o cambio de piezas.”(p. 219). Es por esto que las grandes industrias en la actualidad han hecho uso de varias tecnologías a fin de encontrar soluciones óptimas en la programación de mantenimientos en maquinarias, el análisis de vibraciones resulta ser una vía óptima en la solución de estos problemas ya que permite detectar fallas mecánicas y eléctricas en dichas máquinas. “Debido a que la conversión de una señal de vibración en un espectro de frecuencias requiere de un manejo matemático un poco complicado, en las industrias modernas, cuentan con instrumentos especializados que miden las vibraciones “ [5]. Es por esto que existen en el mercado analizadores de vibraciones que funcionan con sus sensores en campo, a fin de poder obtener resultados y lograr interpretarlos con las técnicas más básicas. El análisis de frecuencias, este estudio se basa en la señal de vibración, la gráfica en el eje “x” muestra frecuencia, y en el eje “y” el desplazamiento, velocidad o aceleración; en máquinas rotatorias la velocidad es más común [6].

El procesamiento y comparación de las diferente gráficas del análisis de frecuencias con respecto al tiempo puede determinar fallas en las maquinarias, al resultar el espectro de medida muy parecido a otro, las fallas detectables en maquinarias usando las vibraciones pueden resultar útiles en la programación de mantenimientos predictivos, todo depende como el lector de las gráficas de los diferentes dominios del espectro del tiempo y la frecuencia Figura 3.3. interprete los resultados obtenidos por los instrumentos de vibración.



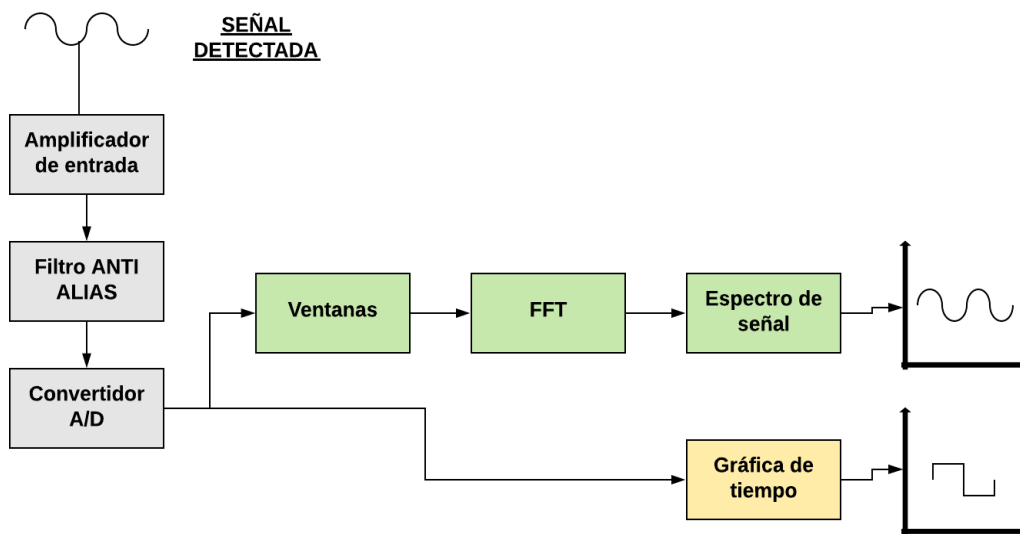
**Figura 3.3.** Señales en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia (espectro).

**Fuente:** [7, p. 7]

### 3.3.4. Estudio IV

En los siguientes párrafos se describe información acerca del estudio “Diseño de un Sistema Medidor de Vibraciones para máquinas rotativas de 900rpm hasta 84000rpm”.

El diseño de un sistema de medición de vibraciones para máquinas parte de conocimientos básicos sobre vibraciones, en donde dicha variable requiere su medición por medio de diferentes transductores, como lo afirma [8] “Entre los más implementados debido a sus grandes ventajas y características, se encuentra el acelerómetro. Este instrumento como transductor permite cuantificar los movimientos oscilatorios de la máquina, en unidades “g” (gravedad) o aceleración” (p. 24). Los acelerómetros deben ser instalados en las máquinas rotativas de manera estratégica para luego seguir procedimientos adecuados para la representación de las vibraciones en diferentes gráficas de espectro y tiempo, como se observa en la Figura 3.4. existen diferentes etapas para lograr obtener una medición y análisis de las vibraciones sensadas por los acelerómetros ubicados en campo.

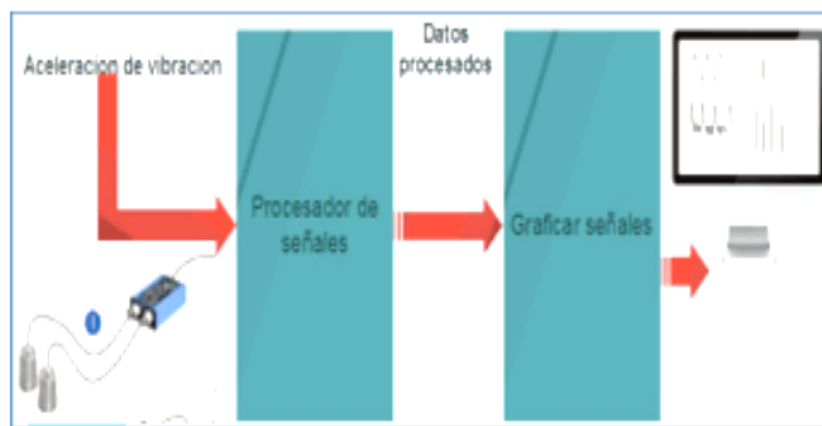


**Figura 3.4.** Etapas de medición para el análisis de vibraciones

El ancho de banda de las vibraciones percibidas por el acelerómetro fue limitada a cierta frecuencia de interés mediante un filtro que evite el efecto alias; por tanto, de acuerdo al teorema de Nyquist-Shannon, el muestreo debe ser realizado al doble de la frecuencia máxima de interés. Dando paso a una reconstrucción más aproximada de la señal. Posteriormente, un microcontrolador, filtros y amplificadores que son parte del sistema de adquisición de datos, seguido de un procesador digital (un computador por sus

grandes capacidades de procesamiento), permiten su representación a partir de gráficas.  
[8, p. 24]

Los acelerómetros reciben señales que deben ser transmitidas a un acondicionador de señal, para luego enviar dichas señales mediante un transmisor de datos hacia un componente que permita el tratamiento y procesamiento de los mismos, para de esta manera obtener gráficas mostradas en visualizadores que son de gran ayuda en el momento de su lectura por profesionales, el procesamiento de visualización de señales se detalla con mejor exactitud en la Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Proceso para graficar señales

**Fuente:** [8, p. 25]

“El computador como procesador digital coopera bastante con el procesamiento de datos, ya que existen varios lenguajes de programación orientados a la ingeniería (octave, scipy, scilab por mencionar algunos) que proporcionan dichas técnicas del procesamiento de señales.” [8, p. 26] El visualizador dentro del procesamiento de grafico de señales es de vital importancia y en la actualidad el computador como una unidad inteligente para recibir, procesar y mostrar datos es el más usado, todo esto debido a la gran variedad de lenguajes de programación y al alcance de cada proyecto en el que se aplique esta tecnología.

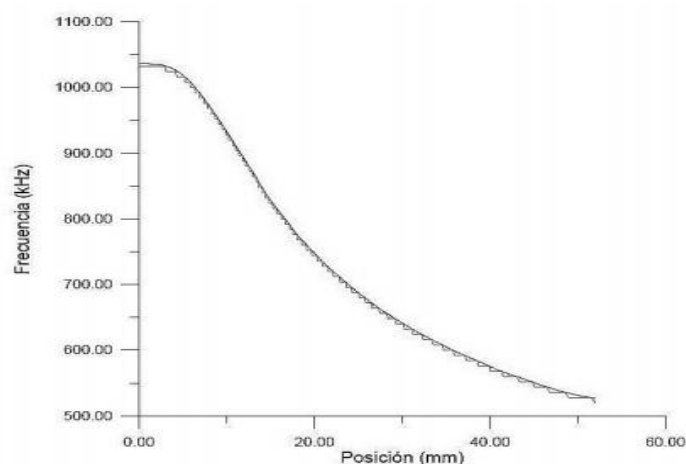
### **3.3.5. Estudio V**

En este apartado se analiza información sobre la investigación nombrada como “Sensor de vibraciones en estructuras, calibrado y puesta en práctica”.

La calibración de sensores es de vital importancia para obtener resultados basados en unidades de algún determinado sistema de medida al momento de realizar pruebas o mediciones, en este

estudio se busca encontrar las vibraciones en el aparcamiento subterráneo de la EUAT, el estudio se basa en la complementación de una tesis doctoral “Detección de Desplazamientos y Vibraciones en Estructuras mediante Sensores Magnéticos” cuyo autor es el Dr. D. Fernando José Maganto Suárez, en donde se busca la calibración del instrumento para usarlo para posteriores mediciones. El estudio se basa en evaluaciones de distintas bobinas para lograr encontrar aquella que permita establecer condiciones óptimas de calibración. “Se construyeron diferentes bobinas a fin de encontrar la bobina que cumpliera los requisitos necesarios para cumplir la auto inductancia requerida por el sensor” [9]. La elección de una bobina adecuada brinda más facilidades al momento de realizar la calibración, Con este sistema, se consiguió medir los desplazamientos con una precisión de tres decimales por cada milímetro. A medida que se va girando la rueda del calibre, la varilla con el núcleo ferromagnético, se va introduciendo poco a poco en el interior de la bobina. Para lograr dicha precisión es importante recalcar que en este caso la calibración del sensor se realizó respecto a los desplazamientos. “Puesto que la primera transducción del sensor es la distancia (desplazamiento) a variaciones de frecuencia, en este trabajo se tradujeron esas frecuencias en milímetros” [9].

Un osciloscopio fue la herramienta principal para lograr la calibración que fue realizada en milímetros de acuerdo al desplazamiento como se mencionó anteriormente, la Figura 3.6. muestra una gráfica que permite realizar una comparativa en donde existe una curva de respuesta a la señal del osciloscopio que debe ser igualada al máximo por la curva emitida por el instrumento.



**Figura 3.6.** Curva de señal de osciloscopio para calibración

**Fuente:** [9]

### 3.3.6 Estudio VI

En esta investigación se detalla información sobre el tema “Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos”.

La tecnología y las diferentes disciplinas existentes siempre van de la mano, la optimización de ciertos procesos mediante la automatización resulta ser viable, en este caso se busca monitorear un rebaño, utilizando sensores, redes de comunicación, protocolos y manejo de datos; todo esto con el fin de cuantificar y supervisar condiciones fisiológicas y sociales de cada animal del rebaño para controlar todas las afecciones que pueden tener y obtener al final un producto de más alta calidad, [10] afirman. “Los criadores de ganado y los científicos que estudian el comportamiento de esos animales, necesitan adquirir datos a partir de experimentos etológicos que les permitan entender como los animales responden a los cambios ambientales a fin de tomar decisiones estratégicas”. Las decisiones centradas hacia la crianza de animales en rebaños en su medio natural y la calidad de los mismos deben estar basadas en datos adquiridos por instrumentos que permitan realizar análisis conductuales de los animales para evitar el discomfort en ellos.

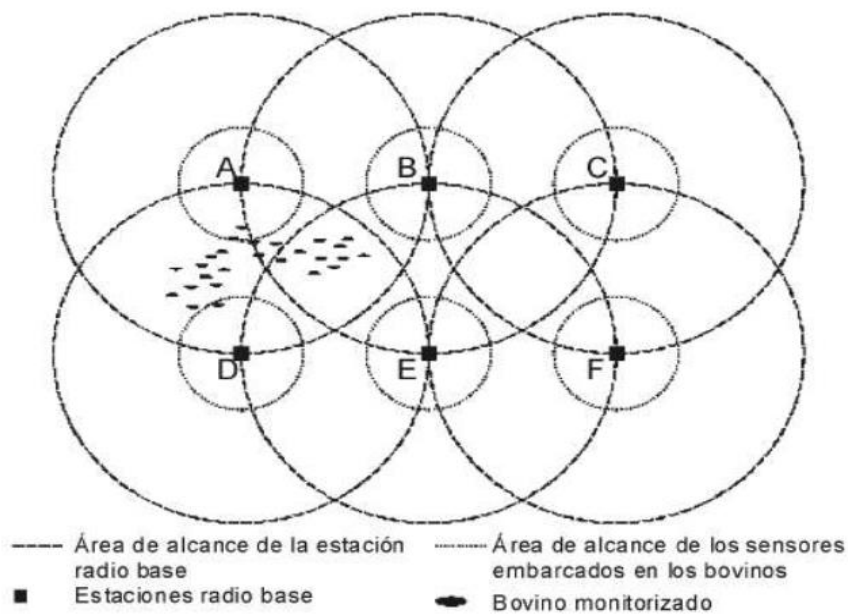
La siguiente tabla muestra en resumen la estructura de las redes inalámbricas de sensores, al igual que la arquitectura básica del hardware.

**Tabla 3.1.** Metodología para la monitorización de rebaños de ganado bovino

| <b>Estructura de la red</b>                                       |  | <b>Arquitectura básica del hardware</b> |  |
|---|--|---|--|
| <b>Variable</b>   | <b>Funcionalidad</b>   | <b>Parte</b>                            | <b>Funcionalidad</b>   |
| <b>Red de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network)</b> | Permite entrelazar nodos mediante el uso de un determinado programa y protocolo y así enviar y recibir información.  | <i>Módulo I</i>                         | Responsable de la detección y acondicionamiento de señales (nodo de sensores).                                 |
| <b>Protocolo FBSN (Floating Base Sensor Network)</b>              | Su traducción se puede entender como base flotante de redes de sensores, la funcionalidad principal es poseer nodos móviles capaces de convertirse en estaciones de base temporaria. | <i>Módulo II</i>                        | Recepción y transferencia de datos (ERBF).   |
| <b>ERBT (Estación Radio Base Temporaria)</b>                      | Surge de la intercomunicación entre distintos nodos móviles y el protocolo FBSN.   | <i>Acondicionador de Señal</i>          | Amplificadores operaciones y filtros activos y pasivos, toma de señales de actividad eléctrica cerebral (EEG). |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p><b>ERBF</b><br/>(Estación de radio Base Fija)</p> | <p>Permite la conexión con las distintas FRBT, para el envío y recepción de datos tomados en campo, la ERBF no puede establecer comunicación con nodos que no estén dentro de la cobertura</p> | <p>Convertidor A/D y Transmisor de datos</p> | <p>Conversor A/D de 12 bits de un microcontrolador PIC-16C774 Microchip®. Transceptor BIM2-433-160 Radio-metrix®, dispositivos con funcionalidad de radiofrecuencia. Se usó Bus 12C que es un protocolo que permite comunicación multipunto.</p> |
|--|--|--|--|

Como se observa en la Tabla 3.1. la estructura de la red parte de dos módulos de gran importancia por un lado el ERBF “Este módulo es responsable de la recepción de los datos enviados por los nodos sensores y retransmite esa información hasta alcanzar a la estación central, a través de una infraestructura de ERBF's distribuidas en el área monitorizada” [10]. La estación de radio base fija transmite los datos recibidos desde la ERBT que consta principalmente de todos los sensores, acondicionadores y transmisores, de esta manera se puede visualizar y usar cualquier tipo de software que permita la monitorización mediante el uso de aplicaciones compatibles con computadores, teléfonos inteligentes y/o visualizadores, En la Figura 3.7. se observa la infraestructura de la monitorización.



**Figura 3.7.** Infraestructura de monitorización

**Fuente:** [10]

Las diferentes variables que se miden en los animales del rebaño en donde existe la infraestructura de monitoreo permiten mediante la determinación de estudios buscar maneras de mejorar la crianza y cuidado de dichos animales, el análisis eléctrico cerebral resulta ser de gran importancia, ya que permite establecer patrones de deslizamiento del rebaño bovino.

El rebaño bovino se comporta como un grupo individualizado y jerarquizado. Dentro del rebaño se destacan dos tipos de líderes: el líder social directamente ligado a la estructura jerárquica del grupo y el líder espacial, que es el animal que tiene la iniciativa de efectuar algún movimiento en respuesta a un estímulo o en función de poseer mayor conocimiento sobre el área de cría y sus recursos. [10]

De esta manera se plantean las distintas variables para lograr conformar los paquetes y definir la arquitectura del software que se va a usar, para así establecer parámetros predeterminados para iniciar el monitoreo, La Tabla 3.2. muestra los parámetros configurados para la simulación del rebaño bovino, con esto lograron delimitar la zona física mediante simulación, y así configurar y determinar la distancia de los ERBF y ERBT. [10] “El empleo del simulador fue de singular importancia ya que permitió definir una buena distribución de la infraestructura de monitorización y podrá en el futuro viabilizar técnicas de monitorización de rebaños numerosos en grandes áreas de cría extensiva”.

**Tabla 3.2.** Parámetros utilizados en el simulador

| <b>Parámetro</b>                       | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| <b>Número de animales del rebaño</b>   | 100          |
| <b>Distancia social máxima</b>         | 10 m         |
| <b>Distancia individual mínima</b>     | 7 m          |
| <b>Modelo de desplazamiento</b>        | Browniano    |
| <b>Radio de cobertura ERBF</b>         | 150 m        |
| <b>Cobertura de los nodos sensores</b> | 50 m         |

**Fuente:** [10]

Los resultados de la experimentación en ganado bovino fueron favorables, ya que se lograron percibir mediciones que estaban muy apegadas hacia estudios realizados anteriormente con este mismo tipo de animales. “El resultado de los experimentos, por lo tanto, mostró que las redes

de sensores inalámbricas son soluciones eficientes, aplicables a la zootecnia de precisión y pueden ser utilizadas para la monitorización de variables fisiológicas de bovinos” [10].

### **3.3.7 Estudio VII**

A continuación se analiza la información más relevante de la investigación titulada “Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia”.

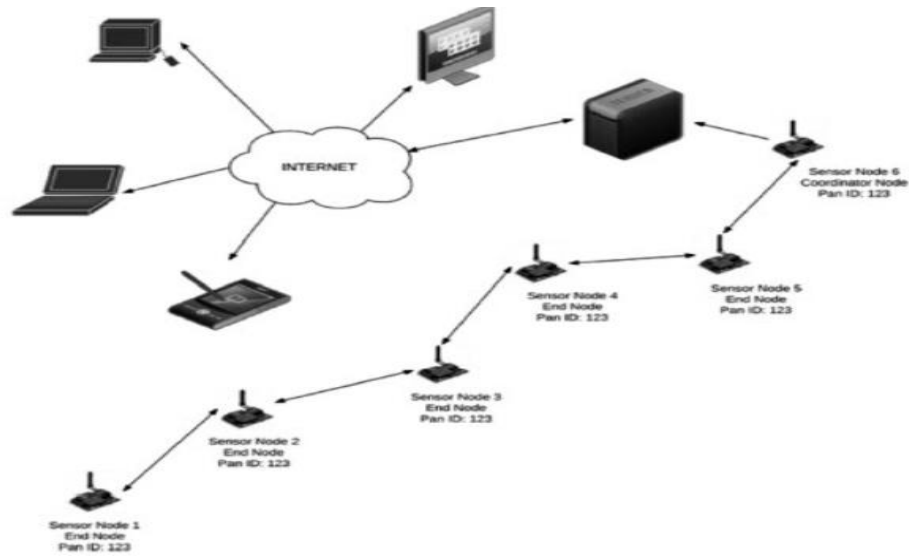
Las pérdidas materiales y humanas registradas por causas de desbordamiento de ríos e inundaciones en la ciudad de Barranquilla son alarmantes, esto ha permitido la realización de estudios, en el presente se muestra la arquitectura de una red de sensores inalámbricos WSN, mencionados en la Figura 3.8. [11] refieren que las redes de sensores inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Network) se componen de distintos tipos de sensores interconectados y ubicados estratégicamente que forman nodos para detectar y monitorizar condiciones físicas o ambientales.

Las redes inalámbricas de sensores tienen características que pueden estar definidas de acuerdo a su uso, un sistema de alerta temprana (SAT) puede estar diseñado con distintos sensores, controladores y visualizadores que son capaces de advertir de situaciones adversas, en el presente estudio se busca alertar por posibles inundaciones o desbordamientos de ríos, usando diferentes tipos de sensores.

El objetivo de este estudio es monitorizar el arroyo “La Brigada” de la ciudad de Barranquilla, ya que es el causante de grandes inundaciones, los nodos que conformaran la red inalámbrica de sensores serán ubicados en puntos estratégicos en los afluentes del río principalmente. La arquitectura escogida para realizar este estudio se detalla en la Figura 3.8.

Una arquitectura típica de una WSN está conformada por un cluster o Cluster Head Node encargados de recoger la información de los sensores; en esta red cualquiera de los nodos podría funcionar como nodo Gateway, siendo en este caso el nodo 6, debido a que está próximo a la Universidad de la Costa. [12]

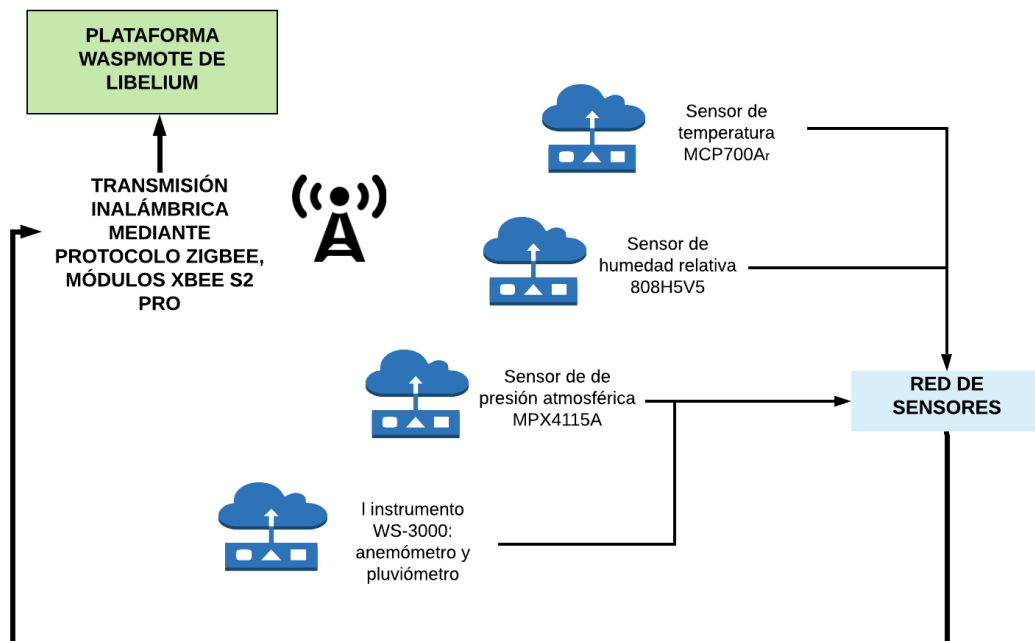
La información recibida o captada por los elementos primarios de la red (sensores) son enviados mediante módulos de radiofrecuencia XBee S2 PRO, que permite emitir datos con un alcance de 1.6 kilómetro de acuerdo a su manual, en el caso de este estudio el nodo 6 funciona como “nodo Gateway”, es decir este nodo es la entrada hacia otra red o simplemente se define como la compuerta lógica por la que saldrán los datos de la red hacia otra



**Figura 3.8.** Arquitectura de la red para monitoreo de arroyo

**Fuente:** [12]

“La información obtenida por los nodos se alojará en un servidor para que esta sea presentada en un entorno disponible mediante una conectividad a internet en equipos de cómputo, pantallas de monitoreo, tabletas y smartphones” [12]. En la Figura 3.9., se detalla la red de sensores usados al igual que la red de transmisión de datos hacia una plataforma específica, para este estudio se tomaron en cuenta tres tipos de pruebas diferentes que se caracterizan por los obstáculos existentes y el tipo de área en el que se encuentra (rural o urbana).

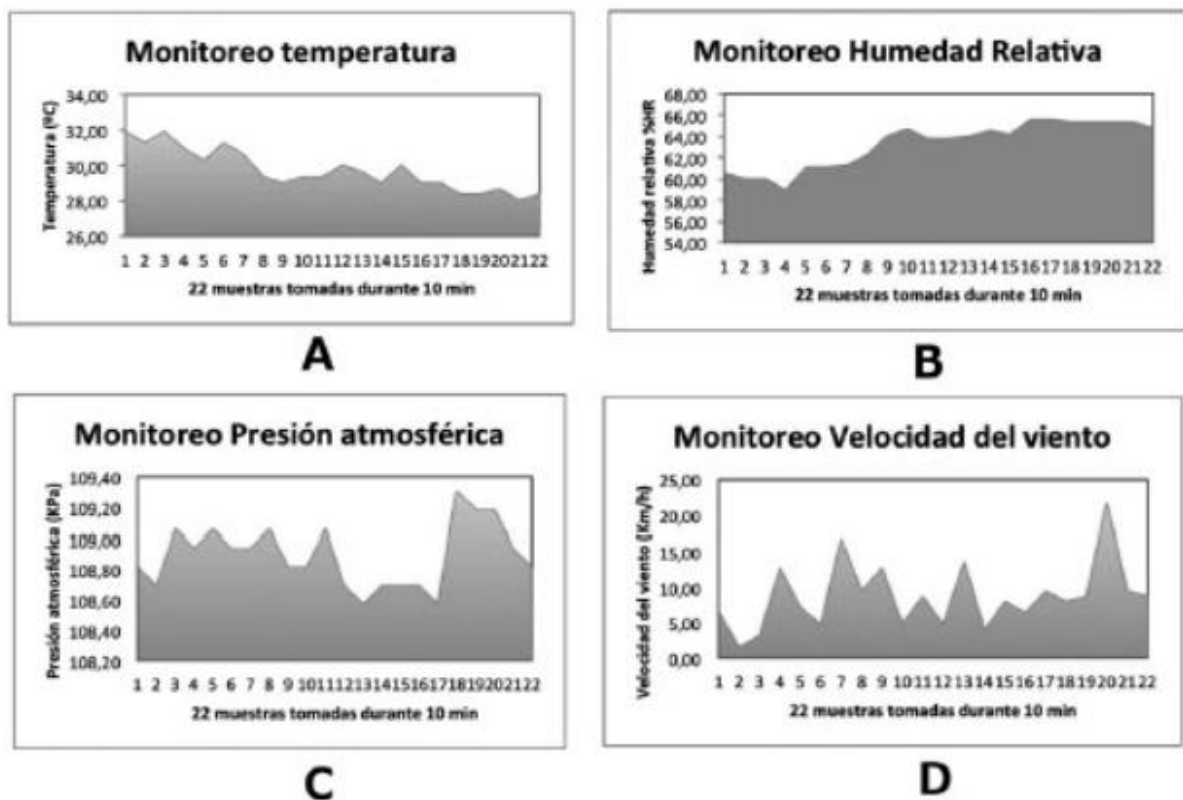


**Figura 3.9.** Transmisión y recepción de datos

El objetivo del estudio analizado se basa en la alerta hacia las personas que se encuentran en la ciudad de Barranquilla, por lo que se desarrolló una aplicación para Smartphone que permitirá la visualización en tiempo real de las distintas variables medidas, y su respectivo análisis respecto a la situación climática.

Los datos monitoreados por los sensores de la estación piloto mostraron las variaciones ambientales en los puntos donde se realizaron pruebas; sin embargo, se simuló el uso del pluviómetro. A continuación se muestran estas variaciones en dos nodos, donde se tomó una muestra durante 10 minutos (4:19 pm - 4:29 pm en el nodo 3 y 4:43 pm - 4:53 pm en el nodo 6) que arrojó una serie de 22 mediciones [12].

En la Figura 3.10. se observan los resultados compilados en el nodo 6 (nodo base) por la red de sensores que son detallados en gráficas de monitoreo de cada variable física en cuestión, esto permite analizar de mejor manera la situación climática y para los profesionales del área es una herramienta de gran ayuda para lograr realizar predicciones meteorológicas que permitan determinar situaciones de peligro de inundación o desbordamiento del río “La Brigada”.



**Figura 3.10.** Variación ambiental registrada en el nodo 6

**Fuente:** [12]

### **3.3.8. Estudio VIII**

La información de la temática denominada “Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino” es sintetizada a continuación.

El presente artículo de acuerdo a, [13] trata de. “Exponer algunos proyectos basados en la placa hardware libre Arduino que son utilizados para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas” (p. 1). La herramienta Arduino es considerada como una estrategia para detectar y monitorear el cambio o el comportamiento de un fenómeno, gracias a la característica de hardware libre la placa Arduino tiene la facilidad para que cualquier persona pueda fabricar su propio dispositivo y analizar el comportamiento de las estructuras. Por otro lado, el valor y la fácil adquisición en el mercado hacen que Arduino tenga una ventaja sobre otros dispositivos, además, la placa tiene la capacidad de receptar gran variedad de sensores ya sean analógicos o digitales.

Monitorear y compilar datos a distancia mediante sensores Ethernet es considerado hoy en día una ventaja competitiva en el mundo industrial, por ende la alternativa de monitoreo de actividad sísmica mediante Arduino tiene la capacidad de cumplir estos requerimientos, elaborar un hardware y un software que analice, interprete datos y los lleve a una página web para que sean posteriormente visualizados a distancia mediante un panel de control conectado a una placa Arduino es una manera eficaz de comunicación.

### **3.3.9. Estudio IX**

En el estudio IX de esta sección se sintetiza información sobre el “Diseño e implementación de un sistema inalámbrico con dispositivos XBee aplicado al monitoreo continuo de vibraciones en el edificio de la facultad de ingeniería y arquitectura de la universidad de El Salvador”.

La placa Raspberry Pi 3, es el hardware utilizado para el proyecto de análisis de vibraciones, donde se crea una red con cuatro nodos de conexión para la comunicación e interpretación de datos de vibración.

El objetivo del presente proyecto según sus autores, habla sobre, el diseño e implementación de un sistema electrónico capaz de capturar y almacenar las vibraciones en edificaciones; dichos datos son enviados de manera inalámbrica a un nodo central para su posterior análisis. Se utiliza el protocolo ZigBee a través de los módulos de radiofrecuencia XBee. [14, p. 01]

Los módulos que conforman este proyecto son 4 XBee Pro que cumplen las funciones de un coordinador declarado como receptor y tres módulos emisores que transmiten la información al coordinador. Los datos que se reciben mediante la red ZigBee que se crea son graficados e interpretados mediante un software llamado Python, donde la característica más importante de la placa Raspberry Pi 3 es que posee la capacidad de transmitir y visualizar la información de sus sensores en la internet.



**Figura 3.11.** Sistema sensores conectados a los módulos XBee.

**Fuente:** [14]

### **3.3.10. Estudio X**

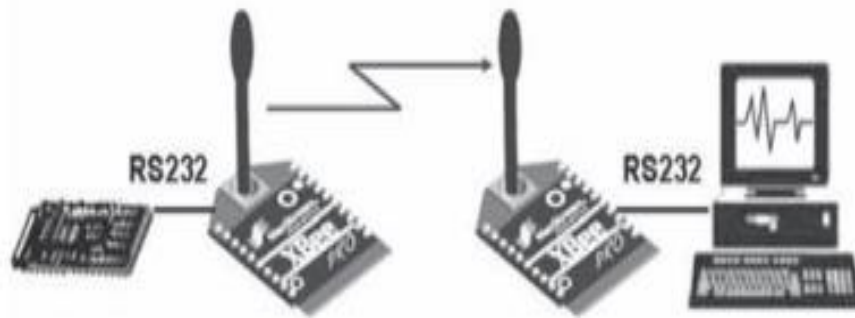
La investigación titulada como “Sistema inalámbrico de adquisición de vibraciones orientado a la detección de movimientos sísmicos con tecnología ZigBee” se resume en los siguientes párrafos.

El presente sistema de medición está enfocado en la transferencia de datos inalámbricos de una manera eficiente y a un costo económicamente mediano.

“La medición y análisis de vibraciones es una de las herramientas más eficaces en el área de ingeniería ya que por medio de esta es posible detectar imperfecciones en una estructura y fallas en un sistema de maquinaria” [15, p. 22].

Determinar las magnitudes físicas es un proceso que necesita un alto grado de calibración para que el valor de la medida sea lo más real posible, hoy en día gracias a los nuevos avances tecnológicos y a la facilidad de adquirir ciertos dispositivos eléctricos y electrónicos de alta gama hacen menos difícil la elaboración de un sistema de medición, los módulos inalámbricos permiten ahorrar el cableado y transferir datos con un mínimo error a gran distancia y de

distintos sensores, en conjunto con la tecnología ZigBee permiten crear una red de transmisión de datos, la composición del presente sistema está compuesto por un router y un coordinador, es decir una conexión punto a punto en los módulos XBee.



**Figura 3.12.** Modelo de un sistema de RF para el análisis de Vibraciones.

**Fuente:** [15]

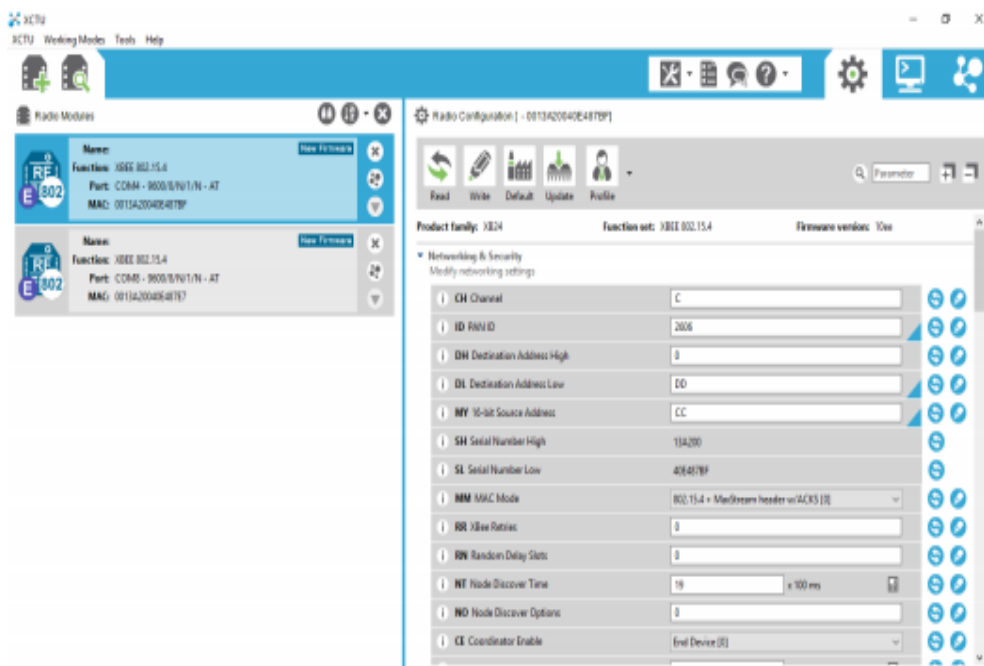
### 3.3.11. Estudio XI

El tema “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” se ha considerado importante para ser analizado, a continuación se detalla más a fondo información sobre dicha investigación.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo según [16] “Medir las vibraciones producidas por los vehículos que circulan por un puente para determinar el estado de la estructura” (p. 5).

La base del presente proyecto se centra en la correcta selección de los sensores para medir vibraciones, que tipo de sensor elegir es ideal para cada magnitud física que se desea medir, esto es fundamental a la hora de obtener información acertada, por consiguiente, se crea una base de datos mediante el software SQLITE 3, esto permite generar un informe con los datos obtenidos compilar la información y generar decisiones con una base histórica de datos.

Otras de las herramientas utilizadas en el presente proyecto es la tecnología ZigBee, para la transmisión de datos inalámbricos mediante radio frecuencias utilizando módulos XBee que a su vez representan un bajo costo de adquisición. Por otra parte, la representación y manipulación de los datos es generada con la ayuda del software MATLAB que permite crear una interfaz, es decir, crear una plataforma de simulación o de representación visual.



**Figura 3.13.** Plataforma de configuración de red punto a punto con XBee en XCTU

**Fuente:** [16]

### 3.3. Principales referencias teóricas

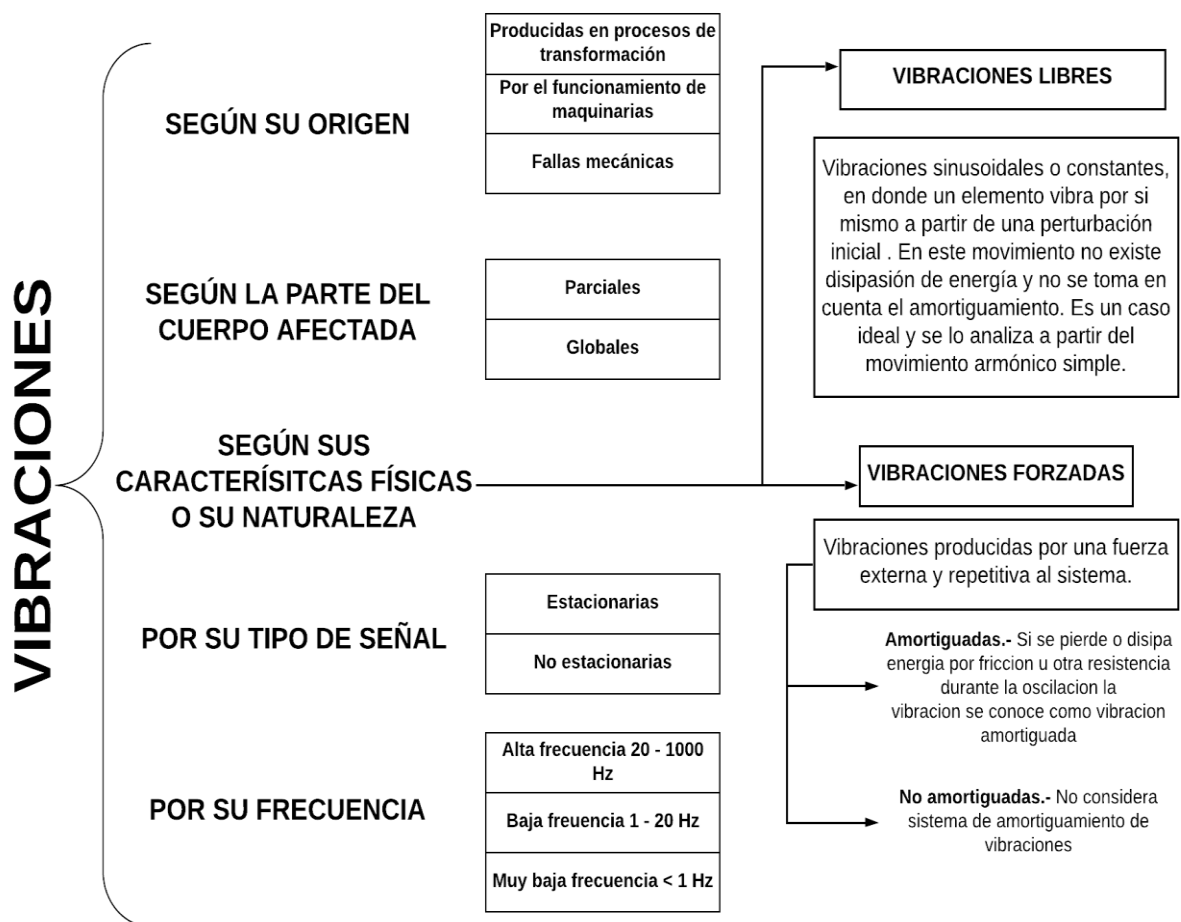
#### 3.3.1. Vibraciones Mecánicas

Para comprender las vibraciones mecánicas es indispensable entender la definición básica de las vibraciones como una variable física capaz de poder ser medida, [6] afirma que. “Una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero” (p. 18). De esta manera las vibraciones pueden ser descritas como un cambio de estado potencial-cinético en un cuerpo dentro de un determinado tiempo.

“La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación. Esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen dentro del objeto” [6, p. 16]. Las vibraciones entonces pueden ser propias de un cuerpo o ajenas a él, dentro de un bus de transporte público las vibraciones pueden ser transmitidas a los componentes de su chasis y estas a su vez hacia los usuarios, dichas vibraciones tienen su origen generalmente en el motor del mismo. [17] afirma. “Una vibración mecánica puede describirse como el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, sin que se produzca desplazamiento "neto" del mismo” (p. 1). Las vibraciones mecánicas son formas de energía que producen desplazamientos en los

cuerpos sólidos, dichos movimientos son repetitivos y siempre vuelven a su posición inicial, es decir que luego de un determinado tiempo en donde se produjeron desplazamientos repetitivos y constantes en un cuerpo por la acción de una fuerza externa o interna a él, este se detiene, eliminando dichos desplazamientos o con una vibración igual a cero.

Para analizar de mejor manera las vibraciones es necesario recurrir a conocer sus clasificaciones, ya que permitirán tener un mejor criterio para el registro y estudio de los datos arrojados de la medición de vibraciones, es necesario tomar en cuenta que existen numerosos tipos de clasificaciones para las vibraciones, que pueden a su vez subclasificarse de distintas maneras, para el presente estudio se analiza las vibraciones por sus características físicas o su naturaleza, que posee una subclasificación adecuada para el desarrollo de la investigación. Las vibraciones libres y forzadas forman parte de la naturaleza de las vibraciones, la Figura 3.14. determina algunas clasificaciones y una breve síntesis de su descripción.



**Figura 3.14.** Clasificación y subclasificación de las vibraciones

### **3.3.1.1. Clasificación de las vibraciones**

Las vibraciones pueden tener diferentes enfoques de acuerdo al área a la que esté dirigida su medición, en la Figura 3.14. se observan diferentes tipos de clasificación y subclasificación de las vibraciones, con un análisis en las vibraciones por su naturaleza.

Las vibraciones inherentemente pueden clasificarse de acuerdo a su origen, en donde se determina cual es la fuente generadora de vibraciones, también de acuerdo a su frecuencia en donde se analiza que tan altas y que tan bajas pueden llegar a ser, además se pueden clasificar de acuerdo al tipo de señal en donde se estudia las señales de vibración desde el punto gráfico, las vibraciones también pueden clasificarse de acuerdo a sus características físicas o su naturaleza y desde el punto de vista ergonómico pueden clasificarse de acuerdo a la parte del cuerpo afectada, de esta rama se subclasifican en globales (aplicadas a cuerpo entero) y parciales en donde se especifica una parte del cuerpo humano en sí. Para la propuesta tecnológica resulta conveniente analizar la naturaleza de las vibraciones, de acuerdo a la Figura 3.14., son libres cuando se las analiza desde el punto de vista ideal, en donde el estudio del movimiento armónico simple es el principal eje del análisis de ellas, y son forzadas cuando existe un factor externo repetitivo influyendo sobre la generación de vibraciones. En un bus interprovincial existen diferentes fuentes generando vibraciones sobre la carrocería y sus distintos elementos [3].

### **3.3.1.2. Representación de las vibraciones**

En la Figura 3.3. se observa que las vibraciones pueden ser representadas gráficamente en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Para la interpretación de señales de vibraciones en el dominio del tiempo estas se desglosan en elementos más pequeños representados en el dominio de la frecuencia, todo esto con la herramienta matemática transformada de Fourier, en la Figura 3.3. se observa que las ondas en el espectro del tiempo pueden ser sumadas y a su vez representadas en el espectro o dominio de la frecuencia [3].

Para la toma de medidas de vibraciones los distintos equipos del mundo fabricados o destinados a medir las vibraciones lo realizan tomando en cuenta el desplazamiento, frecuencia, la velocidad y la aceleración, la Tabla 3.3. detalla la magnitud física y las unidades de medida de la misma y por ende de las vibraciones.

**Tabla 3.3.** Magnitudes y unidades físicas de las vibraciones

| <b>Magnitud Física</b> | <b>Unidad de medida</b>   | <b>Definición</b>  |
|------------------------|---|--|
| <b>Frecuencia</b>      | Hz  | Repeticiones o número de veces que un determinado objeto vibra por segundo.            |
| <b>Velocidad</b>       | mm/s, ft/s, in/s  | Distancia recorrida por una onda propagada en una dirección por cada unidad de tiempo. |
| <b>Aceleración</b>     | mm/s <sup>2</sup> , ft/ s <sup>2</sup> , in/ s <sup>2</sup><br>gravedades (g) | Variación de la velocidad con respecto a cada unidad de tiempo.                        |

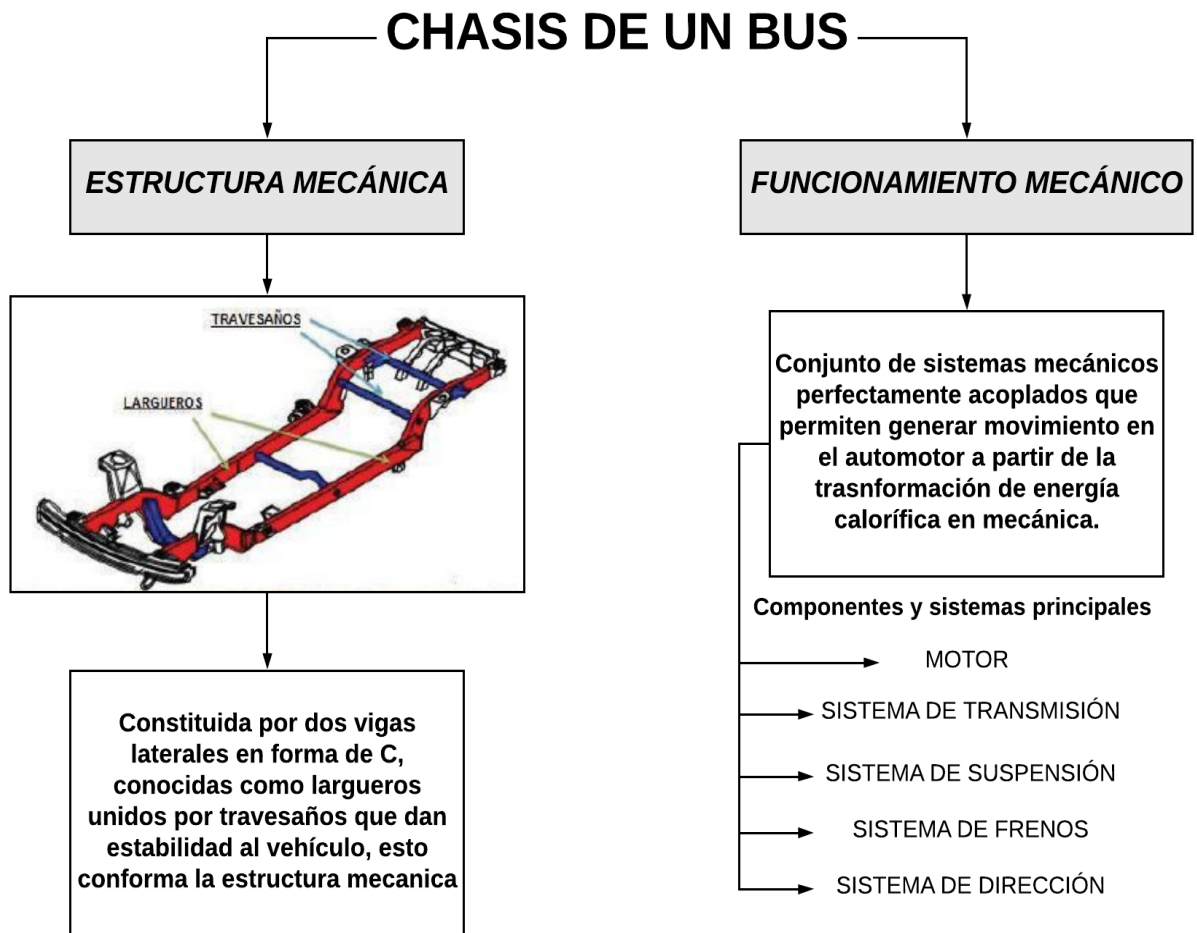
### **3.3.2. Elementos principales en la construcción de un bus**

La constitución o las partes que conforman un bus interprovincial son fundamentales para conocer vibraciones mecánicas dentro de este, a continuación, se analiza la composición de un bus interprovincial desde un punto de vista general, que viene diferenciado claramente por dos partes fundamentales el chasis y la carrocería.

#### **3.3.2.1. Chasis de un bus**

Se puede conceptualizar al chasis de un bus como el componente que contiene diferentes sistemas y componentes mecánicos que permiten dar características a un vehículo como la rigidez, estabilidad, seguridad y por otro lado brindar la energía necesaria para dar movimiento al automotor [3].

La Figura 3.15. muestra la composición del chasis diferenciado por su estructura mecánica o bastidor y los elementos de funcionamiento mecánico que son aquellos que están montados sobre el bastidor y permiten generar movimiento.



**Figura 3.15.** Estructura general de un chasis

### 3.3.2.2. Carrocería de un bus

La carrocería del bus va montada y acoplada sobre el chasis y cumplen ciertos procesos para su construcción que van desde la estructura hasta el acabado e inspección de la misma, las carrocerías en el Ecuador se diseñan y fabrican siguiendo requisitos y estándares generales establecidos por la norma NTE INEN 1323:2009 [3].

La propuesta tecnológica está guiada hacia la medición de vibraciones en la carrocería del bus (una vez montada sobre el chasis) específicamente en las ventanas, tableros, maleteros, bodegas, puertas y distintas tapas de acceso desde cabina hacia componentes mecánicos y eléctricos del bus; estos componentes son lo más susceptibles a ruidos molestos, pérdida de calor en cabina y por ende a costos extras de reajuste para la planta fabricante de la carrocería. En la Figura 3.16. se muestra la estructura de una carrocería saliendo del proceso de pintura.



**Figura 3.16.** Carrocería en salida de proceso de pintura

### **3.3.3. Fuentes de transmisión de vibraciones en un bus**

Antes de analizar las fuentes de transmisión de vibraciones en un bus es necesario conocer las principales fuentes de excitación de dicho automotor que pueden ser propias ajenas a él.

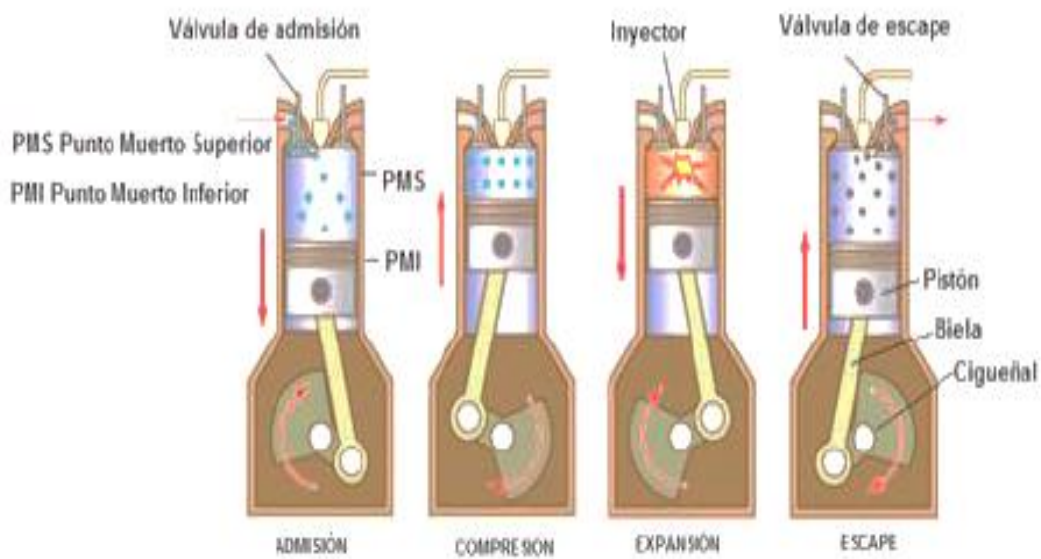
#### **3.3.3.1. Fuentes de excitación de vibraciones propias del bus**

La cantidad de elementos mecánicos que conforman un bus de pasajeros es considerable, es por esto que para el análisis de este estudio se toman en cuenta tres componentes que forman parte de una de las fuentes principales de generación de vibraciones, ya que poseen sistemas de alta potencia y giratorios, dichos componentes son el motor, el sistema de transmisión de potencia, y el conjunto rueda-neumático; dichos elementos son analizados en la Figura 3.18.

El motor es la parte fundamental de todo automotor ya que mediante distintos sistemas y ciclos transforman energía calorífica en energía mecánica, esta transformación sucede cuando los pistones del motor se desplazan desde el PMS (Punto Muerto Superior) hasta el PMI (Punto

Muerto Inferior), el pistón desarrolla cuatro carreras o tiempos normalmente que gracias al sistema biela-manivela logra transformar el movimiento lineal del pistón en movimiento de rotación gracias al cigüeñal; esta transformación de energía se convierte en una de las principales fuentes de generación de vibraciones debido al movimiento rectilíneo repetitivo de pistones y el movimiento circular del cigüeñal [3].

La figura 3.17. muestra los ciclos de trabajo de un motor de encendido por compresión que son aquellos automotores que funcionan con diésel como combustible.

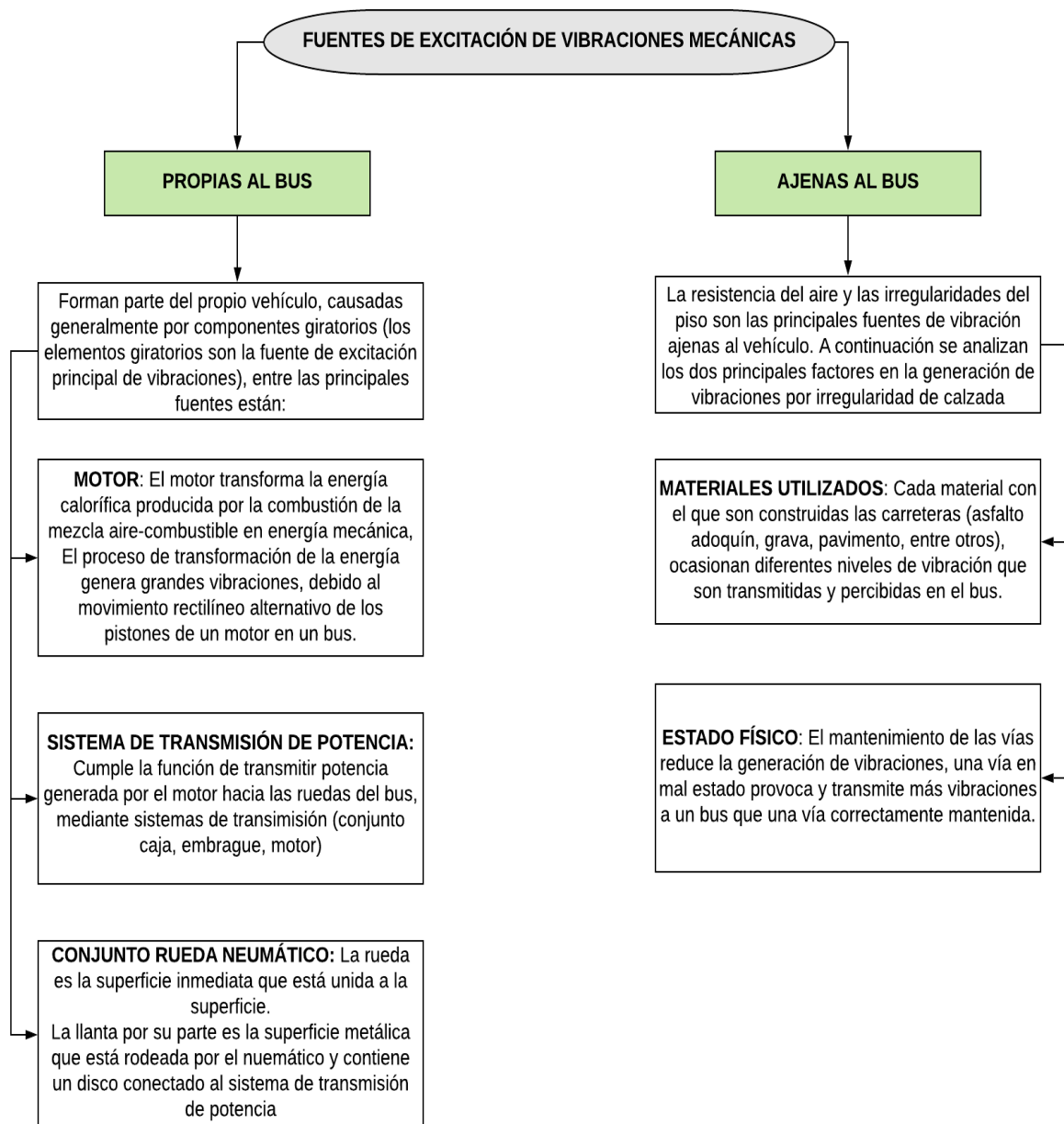


**Figura 3.17.** Ciclos de trabajo de un motor de encendido por compresión

**Fuente:** [3, p. 14]

### 3.3.3.2. Fuentes de excitación de vibraciones ajenas del bus

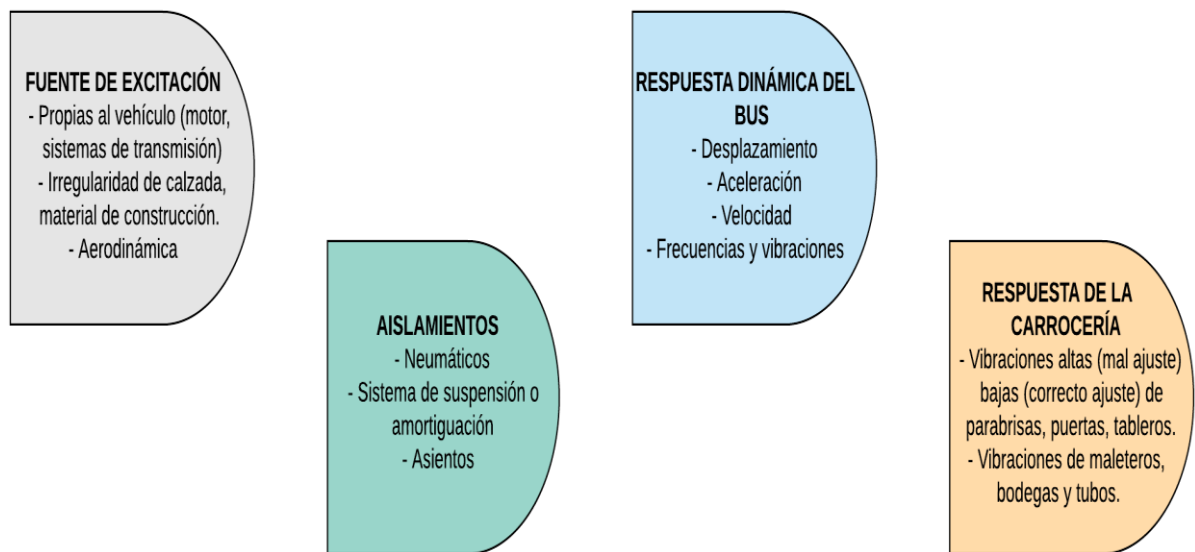
Como se observa en la Figura 3.18. las fuentes de excitación de vibraciones ajenas al vehículo son causadas por elementos como la calzada y las distintas fuerzas aerodinámicas que constituyen la naturaleza propia del movimiento de un bus, en dicha figura se analiza la generación de vibraciones por imperfecciones en la calzada tanto por su estado físico al igual que por su material de fabricación.



**Figura 3.18.** Fuentes de excitación de vibraciones mecánicas en un bus

De esta manera se generan las vibraciones en bus de transporte de pasajeros, de acuerdo a la Figura 3.18. las fuentes de excitación principal generadoras de vibraciones se dan por los sistemas que manejan altas presiones y dispositivos giratorios, el motor, el sistema de transmisión y el conjunto rueda neumático conforman las tres partes fundamentales para el funcionamiento mecánico de un automotor, la transmisión de las vibraciones en un bus de transporte de pasajeros desde sus fuentes de excitación hacia sus partes de la carrocería y usuarios ocurre cumpliendo un proceso en general.

La Figura 3.19. muestra el proceso de transmisión de vibraciones, se analiza primeramente las fuentes de excitación, luego están los distintos aislamientos de vibraciones que están constituidos generalmente por sistemas de amortiguamiento y suspensión del automotor, también por las diferentes juntas de apoyo del motor sobre el bastidor, y la presión requerida por los neumáticos del vehículo; todas las oscilaciones que no se han podido absorber por dichos elementos son transmitidas hacia componentes de la carrocería como puertas, parabrisas, tapas, carteras, bodegas, maleteros, usuarios, chofer entre otros [3].

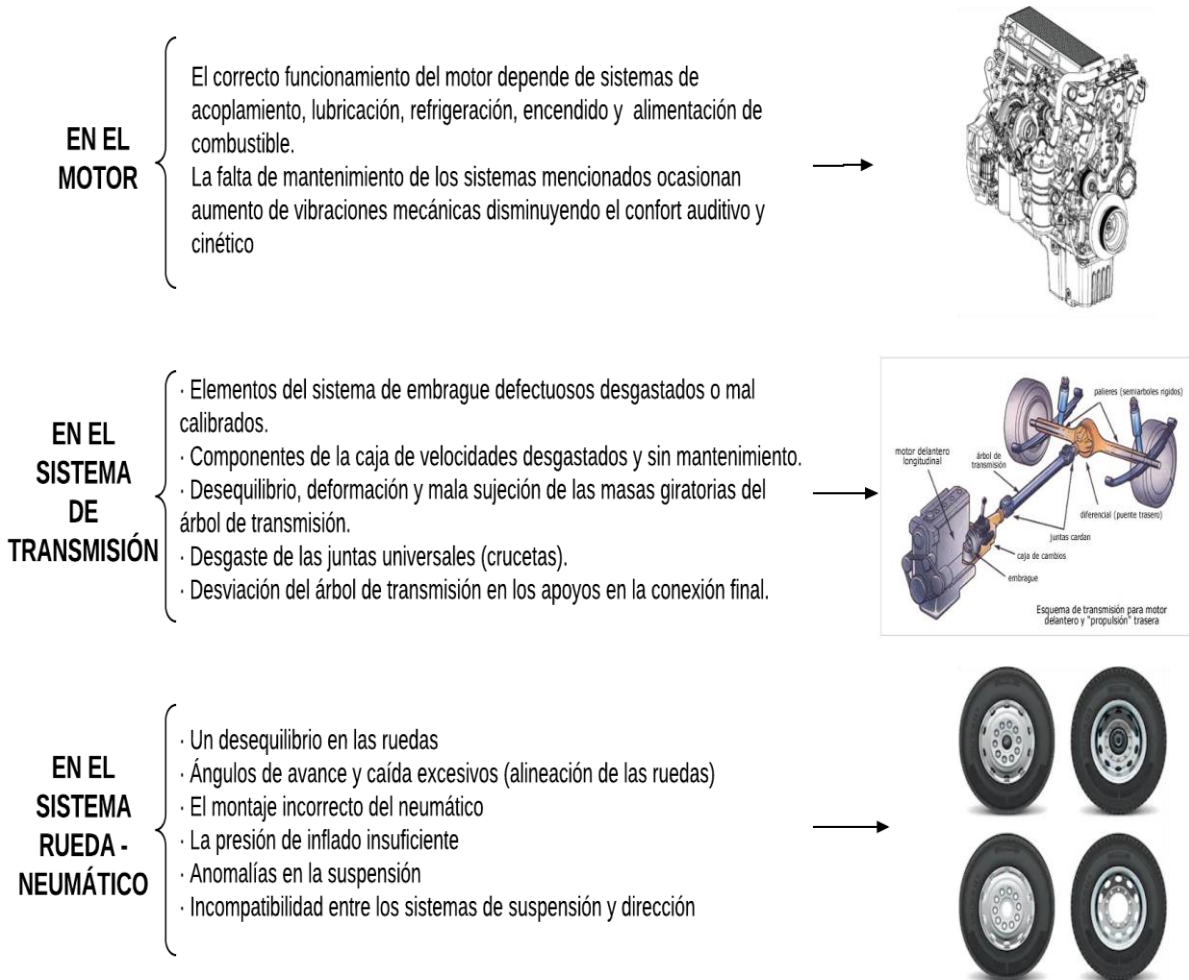


**Figura 3.19.** Proceso de transmisión de vibraciones en un bus

Es de vital importancia analizar de igual manera las causas del aumento de vibraciones en las fuentes generadoras de esta variable física en un automotor, es lógico conocer que el estado de la calzada (bueno o malo, pavimentado, adoquinado, grava, barro, o piedra) influye directamente en la generación de vibraciones ajenas al vehículo, pero para conocer que causas aumentan las vibraciones en las fuentes propias al vehículo se recurre a la Figura 3.20. que vincula cada fuente propia al bus analizada con distintas causas de aumento de vibraciones.

De esta manera se concluye el estudio teórico de vibraciones para el presente proyecto.

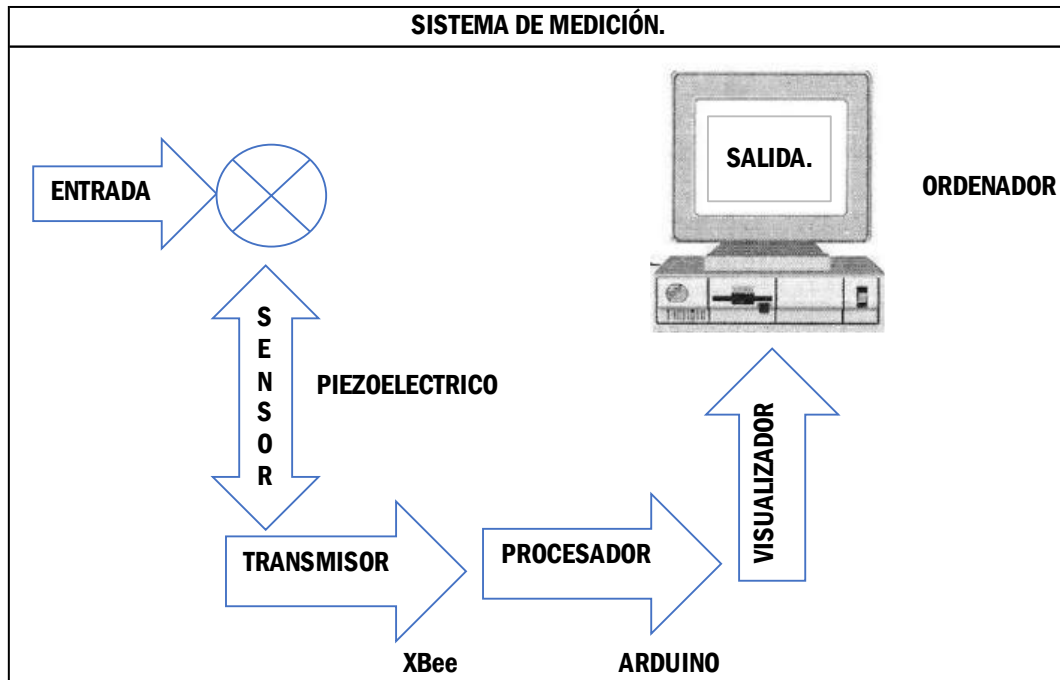
## CAUSAS DE AUMENTO DE VIBRACIONES EN FUENTES DE EXCITACIÓN PROPIAS DE UN AUTOBUS



**Figura 3.20.** Causas de aumento de vibraciones en fuentes propias al vehículo.

### 3.3.4. Sistema de medición

Para la medición de variables físicas (vibración, temperatura, humedad, etc.), se debe pasar por un proceso como se observa en la Figura 3.21. los resultados de una medición permiten tener beneficios a una organización con el fin de dar trazabilidad a un proceso o a una máquina, estos datos de medición son considerados como una estrategia para generar calidad, confiabilidad o en su defecto anticiparse ante posibles hechos.



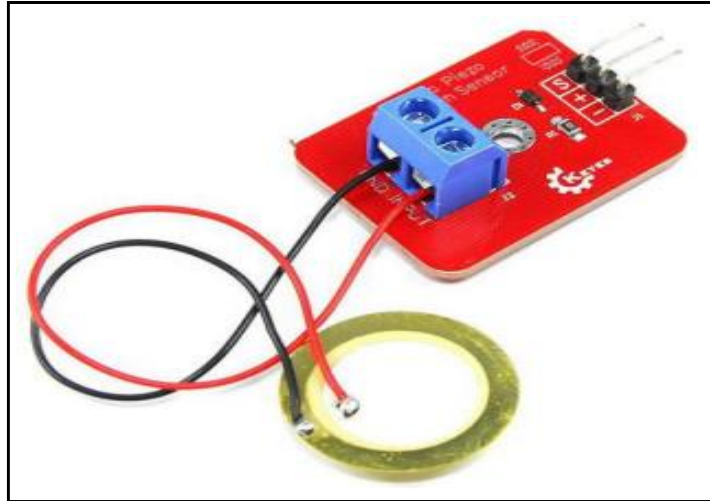
**Figura 3.21.** Sistema de medición

A continuación, se explica cada función del sistema de medición utilizado en el presente proyecto, donde el enfoque está dirigido hacia la transmisión de datos de vibración inalámbricamente con el propósito de visualizar una medida en tiempo real más no un control del sistema.

### 3.3.4.1. Sensores

Obtener los datos de medición es una tarea a priori de los sensores que complementa al sistema de medición, según, [18] comenta que, “Es un dispositivo capaz de recibir estímulos o acciones externas y responder mediante magnitudes eléctricas”.

Hoy en día existen gran cantidad de sensores que pueden satisfacer prácticamente cualquier necesidad de medición, para este estudio no es necesario enfocarse en la gran cantidad de sensores que existen en el mercado, la elección es proporcional al principio de funcionamiento (activos y pasivos), según la señal eléctrica que genera (analógicos y digitales). Para el presente proyecto se considera utilizar un sensor piezoeléctrico de vibración analógico KY0138, esta decisión es fundamentada en la Tabla 4.14. de la sección 4.



**Figura 3.22.** Sensor piezoeléctrico de vibración analógico KY0138.

**Fuente:** [19]

El presente modulo analógico permite variar su salida en función de la fuerza aplicada, en este caso el sensor es ideal para detectar vibraciones que pueden ser producidas en carrocerías, siendo así el primer paso del sistema de medición. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas que posee este módulo de acuerdo a, [19]:

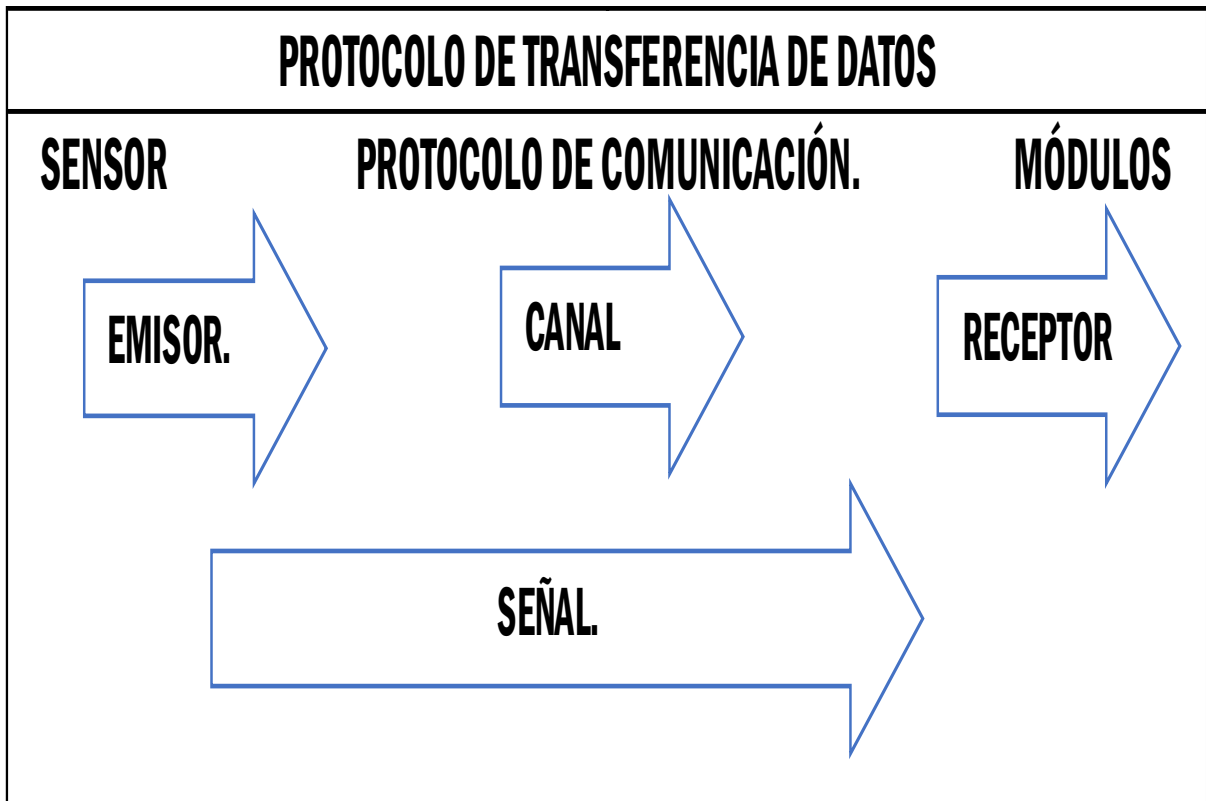
**Tabla 3.4.** Especificaciones del sensor piezoeléctrico de vibración analógico

| <b>Especificación</b> | <b>Descripción</b>     |
|-----------------------|------------------------|
| Corriente             | 1 mA                   |
| Voltaje               | 3.3 – 5 V              |
| Conexiones            | Terminales de tornillo |
| Circuito integrado    | KY0138                 |

**Fuente:** [19]

### **3.3.4.2. Transmisores**

La señal proveniente de los sensores necesita ser receptada y emitida para contemplar así el segundo paso del sistema de medición del presente proyecto como se observa en la Figura 3.23., por ende, se considera que la transmisión de datos es la estrategia que se usa para trasladar las señales que se generan por un determinado sensor y posteriormente pasaran a ser procesados y almacenados para ser visualizadas en un ordenador.



**Figura 3.23.** Proceso de la transferencia de datos.

Según [20], menciona que, “Las señales distorsionadas producidas por los sensores no tienen sentido alguno para las máquinas, por lo cual estas necesitan de reglas rápidas y estrictas de procedimiento, donde el objetivo sea manipular el intercambio ordenado de los datos a través de una red”. En la actualidad existe gran variedad de protocolos de comunicación, la elección se fundamenta de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, a continuación, se mencionan algunos protocolos:

- Protocolo IEEE 802.11 (Wireless)
- Protocolo IEEE 802.15 (Bluetooth)
- Protocolo ZigBee (basado en el estándar IEEE 802.15.4)

Los protocolos mencionados son comparados en la sección cuatro para fundamentar la decisión de con cuál de ellos desarrollar la propuesta tecnológica.

**Tabla 3.5.** Comparación entre las redes Wii-fi, Bluetooth y ZigBee.

| <b>Tecnologías</b> | <b>Características</b>   |
|--------------------|--|
| <b>ZigBee.</b>     | Rango: 10 - 100 m.<br>Topología de red: Punto a punto estrella, malla.<br>Banda ancha: 250 kbps. |
| <b>Wi-Fi.</b>      | Rango: 50 – 100 m.<br>Topología de red: punto a hub, PAN, LAN.<br>Banda ancha: 1Mbps.            |
| <b>Bluetooth.</b>  | Rango: 10 - 100 m.<br>Topología de red: Ad-hoc, redes corto alcance.<br>Banda ancha: 54 Mbps.    |

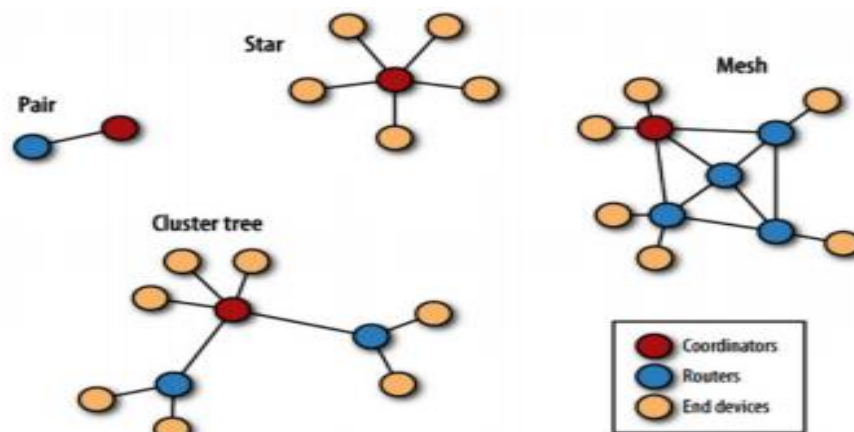
**Fuente:** [21]

**Nota:** En la actualidad existen distintos tipos de redes de conexión para la transferencia de datos, la opción de elegir una de ellas depende del costo del alcance que se desee, la distancia o la velocidad de transferencia de datos, entre otras.

En el presente proyecto se optó por el protocolo ZigBee, la decisión está fundamentada en la Tabla 4.5. de la sección 4, por consiguiente, se toma la decisión de usar módulos XBee, para la transferencia de datos.

#### **3.3.4.2.1. Protocolo ZigBee**

La tecnología ZigBee posee las características de transmisión de paquetes de datos de una manera inalámbrica con un bajo consumo eléctrico, utilizado principalmente para la domótica o la automatización de un hogar o incluso de un proceso industrial, este protocolo de red tiene como objetivo lograr una comunicación de un gran número de dispositivos a un alto grado de eficiencia, para la transmisión de datos obtenidos de sensores.



**Figura 3.24.** Tipos de redes de conexión que soporta ZigBee

**Fuente:** [22]

A continuación, se detalla los tipos de redes del protocolo ZigBee, mostradas en la Figura 3.24.

- **Tipo estrella.** - Este tipo de comunicación tiene como características a varios dispositivos conectados a un dispositivo llamado coordinador como se observa en la Figura 3.24., donde el coordinador debe ser conectado a una energía constante mientras que los dispositivos finales pueden ser conectados con baterías independientes con el fin de generar una red de transferencia de datos de largo alcance.
- **Tipo entre pares.** - El enrutamiento múltiple es una de las características de este tipo de red, también llamado conexión punto a punto, o ad hoc, donde los privilegios que tiene esta red es la comunicación que puede ser unidireccional o bidireccional con el fin de tener una red inteligente.
- **Tipo mesh.** - Este tipo de red es una solución a la congestión de datos que se pueden ocasionar cuando existen una gran información que analizar, este tipo es flexible y eficiente en lo que respecta a la transmisión de datos y es considerado para procesos industriales liderados por un dispositivo coordinador, como se observa en la Figura 3.24.
- **Tipo árbol.** - Las redes tipo árbol se pueden agrupar, dando paso a un tipo de red árbol como se observa en la Figura 3.24., donde las características de este tipo de red son la sincronización de datos y el cambio de roles, es decir, no existe un dispositivo padre que cumpla la función de coordinador central esto permite generar distintas vías de comunicación ante posibles emergencias para la transferencia de datos.

A continuación, se detallan en la siguiente tabla los tipos de dispositivos de la tecnología ZigBee

**Tabla 3.6.** Descripción de los dispositivos que posee la tecnología ZigBee.

| <b>Dispositivos ZigBee.</b> | <b>Descripción</b>  |
|-----------------------------|---|
| <b>Coordinador.</b>         | Posee las características de ser la parte central de una red, donde llegan los datos para ser procesados, validados o transferidos a un ordenador, tiene la potestad de dar la aceptación o la negación de que otros dispositivos se conecten a su red. |
| <b>Router.</b>              | Tiene la obligación de transferir los datos a un coordinador y estar a sus órdenes, el router tiene la capacidad de ser emisor y receptor dependiendo de las características que se deseen.   |
| <b>Dispositivo final.</b>   | Estos dispositivos van conectados a los routers y únicamente cumplen las funciones que el coordinador les da a los routers y ejercen la acción por la que fue creada la red.  |

**Fuente:** [23]

**Nota:** ZigBee es una tecnología que posee las facilidades de dar órdenes y declarar funciones a distintos tipos de dispositivos para trabajar de una manera eficiente y que ejerzan la función de una red de transferencia de datos organizada.

#### 3.3.4.2.2. Módulos XBee



**Figura 3.25.** Módulo XBee Series 2

El módulo XBee es una herramienta que permite transferir datos de manera inalámbrica, mediante la creación de una red, estos datos pueden ser trasladados a un servidor o coordinador. El módulo XBee es programable mediante la utilización de un software llamado XCTU, el programa permite crear redes inalámbricas punto a punto, punto a multipunto; para su correcta transmisión los módulos tienen que estar en el mismo canal y se adapta a las necesidades de cada proyecto gracias a sus múltiples modos de operación como lo son: api, transparente o peer to peer.

En la actualidad existe gran variedad de módulos XBee, que poseen distintas características como se observa en la tabla 4.6. de la sección 4, algunos de los módulos son:

- XBee ZBS2C
- XBee PRO ZB S2C
- XBee Series 1
- XBee Series 2
- XBee 868 LP
- XBee PRO XSC

### **Ventajas de XBee**

- El módulo XBee tiene un alto rendimiento a un bajo costo de adquisición ideal para la elaboración de proyectos, enfocados a la transmisión de datos inalámbricos con una sensibilidad de recepción del 1% de error.
- Este módulo es fácil de usar, es decir, gracias al software libre XCTU, se puede realizar distintas redes de transmisión de datos, generando la orden de coordinador o de router a cada módulo dependiendo de las necesidades.
- La creación de una red mediante módulos XBee genera cierto prestigio para un proyecto.

Para el presente proyecto se toma la decisión de usar el módulo XBee S2, fundamentado en la Tabla 4.8. de la sección 4, a continuación, se detalla los aspectos más importantes de este módulo.

**Tabla 3.7.** Especificaciones técnicas del XBee Series 2

| <b>Especificación</b>                 | <b>Descripción</b> |
|---------------------------------------|--------------------|
| Rango de Radio frecuencia             | 120 m              |
| Velocidad de datos de radiofrecuencia | 250.000 bps        |
| Sensibilidad del receptor             | 1 % de error.      |
| Alimentación                          | 2,8 a 3,4 V DC     |
| Frecuencia de funcionamiento          | 2.4 GHz            |

**Fuente:** [23]

**Nota:** Las especificaciones detalladas corresponden a las especificaciones más importantes del módulo, sin embargo, hay que tener en cuenta que el rango de RF (radiofrecuencia) es proporcional a la ubicación del sensor.

Los tipos de red que soporta el módulo XBee S2 pueden ser: Punto a punto, Punto a multipunto, Peer-to-peer, Malla.

#### **3.3.4.3. Unidad de Procesamiento.**

Es una máquina que tiene el objetivo de recibir instrucciones y ejecutarlas, asignadas mediante un lenguaje de programación de acuerdo a las necesidades, la unidad de procesamiento para el presente proyecto debe cumplir las siguientes características.

**Tabla 3.8.** Principales cualidades de un procesador

| <b>Cualidades</b>                 | <b>Detalle</b>   |
|-----------------------------------|--|
| <b>Recibir instrucciones</b>      | Debe poseer un lenguaje de programación que permita manipular totalmente los datos receptados.   |
| <b>Unidad aritmética – lógica</b> | Debe poseer la capacidad de realizar operaciones lógicas y matemáticas, esto es fundamental ya que permite interpretar los valores de acuerdo a las necesidades de medición. |
| <b>Bifurcación de programa</b>    | Su software debe poseer la cualidad de interpretar distintas funciones en un mismo código, esto generara alternativas de flexibilidad para adaptarse a distintos proyectos.  |

En el mercado existe gran variedad de procesadores que poseen estas características como lo son Arduino, Raspberry Pi, PLC Siemens. La selección de un procesador para el presente proyecto está fundamentada en la Tabla 4.11. de la sección 4, a continuación, se detalla las características más importantes del procesador seleccionado

#### **3.3.4.3.1. Placa Arduino**



**Figura 3.26.** Placa Arduino UNO

La placa Arduino se define según [24] como. ” Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores” (p. 63).

Al hablar de la placa hardware Arduino se hace referencia a una herramienta que permite acoplar componentes electrónicos a su sistema permitiendo de esta manera tener un control sobre diferentes tipos de sensores ya sean analógicos o digitales, su lenguaje de programación libre hace que Arduino sea una herramienta accesible de manejar permitiendo generar instrucciones a los dispositivos eléctricos o electrónicos que estén conectadas a su hardware. Por ende, Arduino permite analizar interpretar y controlar la información y a su vez llevar a cabo estos datos a un ordenador, esta herramienta es compatible con una variedad de programas que permiten mostrar su información de manera gráfica, es decir Arduino no solo muestra la información, sino que además trabaja de manera conjunta con otros softwares dependiendo de la necesidad que se desee.

## **Ventajas de usar Arduino.**

- El lenguaje de programación de Arduino es considerado uno de los más sencillos y fáciles de utilizar accesible a un aprendizaje rápido de la persona que lo quiera utilizar.
- La placa Arduino es considerada libre y extensible, es decir, que su hardware puede ser modificado de acuerdo a las necesidades de la persona y su software adaptable a las necesidades.
- Hoy por hoy la comunidad de Arduino es extensa, esto quiere decir que las personas continuamente están compartiendo información y documentación de las nuevas ideas que se van generando para Arduino y estos datos nuevos se encuentran en la página Arduino accesible a todas las personas.
- El costo de adquisición de una placa Arduino es económicamente bajo, e incluso gracias a su hardware libre se lo puede fabricar reduciendo aún más su costo.

Debido a las necesidades de medición se optó por el módulo Arduino UNO.

Las características más interesantes que posee la placa Arduino según [24] son:

- La alimentación es de 5 V.
- La placa Arduino tiene 14 pines de entradas o salidas digitales.
- Dispone de 6 pines de entradas analógicas.
- Posee salidas analógicas PWM en 6 pines.
- Conexión al ordenador mediante cable USB.
- Procesador ATmega328P.
- Velocidad de la CPU 16 MHz

La placa Arduino Uno permite que la conexión con el ordenador sea mediante un cable USB que a su vez es una forma de alimentar a la placa para su funcionamiento, la alimentación de la placa también se la puede hacer mediante una fuente, esto depende de la necesidad del proyecto, dentro de estas características también se encuentra la facilidad de adaptación de dispositivos electrónicos como pueden ser los dispositivos XBee, dispositivos Ethernet, dispositivos bluetooth, etc. Esto hace que Arduino sea considerada como una herramienta fácil, accesible y multidisciplinaria, los proyectos que se generan con Arduino son proyectos enfocados a la creación de una red que permita transferir datos para tomar decisiones.

#### **3.3.4.4. Visualizadores.**

El sistema de visualización permite la interpretación de datos de una manera gráfica y debe poseer las siguientes características:

*Interfaz gráfica:* Dependiendo de las necesidades del usuario, este método permite visualizar en una pantalla imágenes y variables, generando así la interpretación de una manera más clara, en la actualidad los ordenadores se encargan de llevar la mayoría de procesos de una organización y debido a que no todo el personal de una organización está capacitado en entender la información abstracta de los computadores se crea la interpretación grafica para el mejor entendimiento.

*Base de datos:* Esta herramienta permite guardar la información de un proceso, su importancia radica en la accesibilidad y en el almacenamiento de gran cantidad de datos con la finalidad de tomar decisiones con la información que se almacena.

*Manipular datos:* La manipulación de datos es una forma de controlar la información que entra al sistema, es decir, procesar la información mediante la programación para poder interpretar la de acuerdo a las necesidades de un proyecto.

*Entrada de datos:* Hace referencia a transcribir o leer la información de un dispositivo externo, con la finalidad de manipular los datos.

*Softwares:* En la actualidad existen gran cantidad de programas que pueden cumplir las características ya mencionadas, como, por ejemplo: Python, JAVA, MATLAB, LabVIEW.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque**

La presente tesis de investigación estara enmarcada dentro de un carácter propositivo, es decir que tendra un enfoque mixto (cualitativo, cuantitativo), esto debido a que la realizacion de la proupesta tecnologica se llevará a cabo teniendo en cuenta el analisis de caracteristicas fisicas, aplicando sensores de medicion, pero al mismo tiempo esta orientada al analisis de los resultados obtenidos.

## 4.2. Tipo de investigación del proyecto

Una de las principales actividades que tiene esta investigación, es la compilación de todos los datos importantes sabiendo escoger la información más idónea que contribuirá al proyecto, con el fin de obtener datos que ayuden a generar nuevos conocimientos, es por eso que es fundamental definir una estrategia de investigación que permita tomar decisiones acertadas. Una de las formas existentes para llevar a cabo esta investigación es una de tipo **explicativa**: La investigación explicativa ya no solo describe el problema o fenómeno observado sino que se acerca y busca explicar las causas que originaron la situación analizada. En otras palabras, es la interpretación de una realidad o la explicación del por qué y para qué del objeto de estudio; a fin de ampliar el ¿Qué? de la investigación exploratoria y el ¿cómo? de la investigación descriptiva. Permitirá definir conceptos, tener un enfoque claro sobre lo que se va a realizar y sobre todo encontrar una solución a problemas que no fueron tomados en cuenta en el pasado, todo esto con un único objetivo, demostrar que la automatización de procesos puede llegar a tener gran importancia a la hora de evaluar el grado de éxito de un control de calidad. Por otra parte, la investigación descriptiva también tiene su propio procedimiento que será de suma importancia para el desarrollo del proyecto, ese procedimiento tiene como objetivo: identificar el problema, además de, sustentar la investigación a través de metodologías para encontrar la solución, estableciendo conclusiones, análisis de datos y explicaciones para esclarecer la tesis inicial.

## 4.3. Métodos

Se considera que para el siguiente proyecto de propuesta tecnológica para el área de producto terminado de la empresa “DavMotor”, se registrará como parte a priori al **método analítico sintético**, este tipo de método permitirá justificar e invalidar cierto tipo de información que será fundamental para el desarrollo del proyecto, es decir, este método es el pilar de donde arrancará toda la investigación, posteriormente se aplicará un **método inductivo** para la parte práctica debido a que es un trabajo específico para una empresa. Además este método permite tener una observación, clasificar y estudiar los hechos, en pocas palabras poder contrastar la información, finalmente para el análisis de los resultados se volverá a retomar el **método analítico sintético**, de esta manera se daría cumplimiento al objetivo del proyecto.

Trabajar con esta forma de metodología permitirá orientar y validar el proyecto al incorporar datos referenciales sobre otros modelos, estudios o proyectos de automatización que ya se hayan realizado y sobre todo comparar las distintas alternativas a tomar en cuenta para el proceso, de

esta manera se podrá tener una idea más clara de cómo establecer posibles soluciones, o qué camino tomar a la hora de evaluar el grado de éxito obtenido durante este proceso.

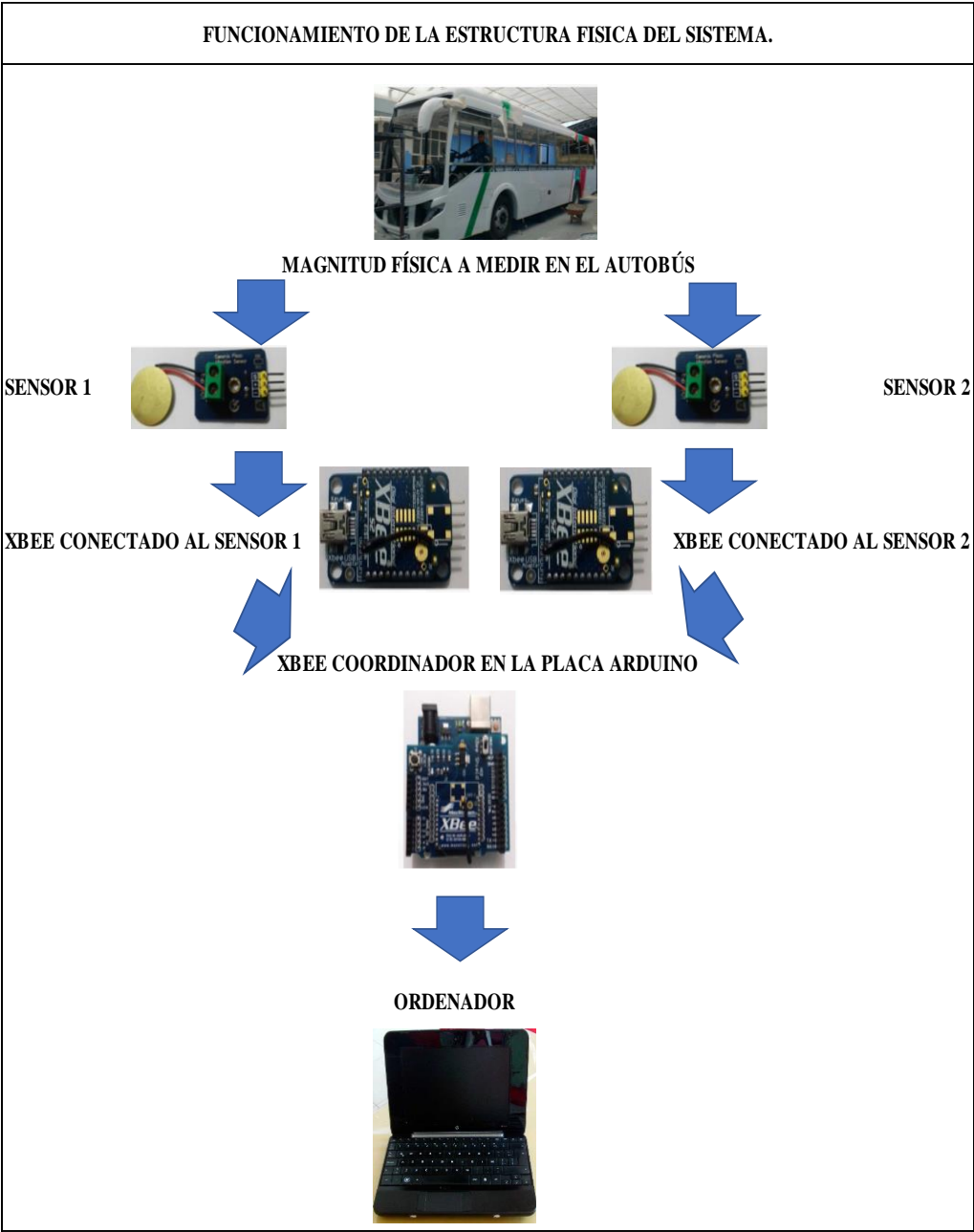
#### **4.4. Solución al Problema**

Hoy por hoy la tecnología es considerada una estrategia de prestigio y calidad, por eso se utiliza para resolver grandes necesidades y problemas que suscitan en la industria, generando así un alto grado de confiabilidad para los clientes y satisfacción.

Es por eso que se elabora un plan o estrategia que permita ayudar a generar alternativas de análisis de detección de fallas que se dan en la prueba de ruta para los autobuses interprovinciales de la empresa DavMotor Cía. Ltda. La estrategia consiste en diseñar un protocolo de comunicación, que transfiera datos de manera inalámbrica en tiempo real, el objetivo principal del sistema es medir vibración puntos estratégicos de la unidad interprovincial con la ayuda de sensores, además se utilizara módulos para la transferencia de datos, conectar estos dispositivos a una unidad central de procesamiento es parte importante para la transferencia de los datos a un ordenador, por consiguiente se elaborará una interfaz gráfica que muestre la información enviada por los sensores en tiempo real, todo esto con la finalidad de obtener una medida física validada por un sistema cuantitativo y no basada en los sentidos como la empresa lo practica en la actualidad.

Por otra parte el sistema a elaborar es flexible y fácil de manejar, consta principal mente de un hardware libre ajustable a distintas magnitudes de medición, además su software libre es accesible a ediciones constantes, todo esto quiere decir que el sistema está dispuesto a aceptar posibles modificaciones, ajustándose a las necesidades de lo que se quiera medir, se puede modificar su hardware agregando más sensores y de distintos tipos para distintos usos y la topología de la red se puede ampliar.

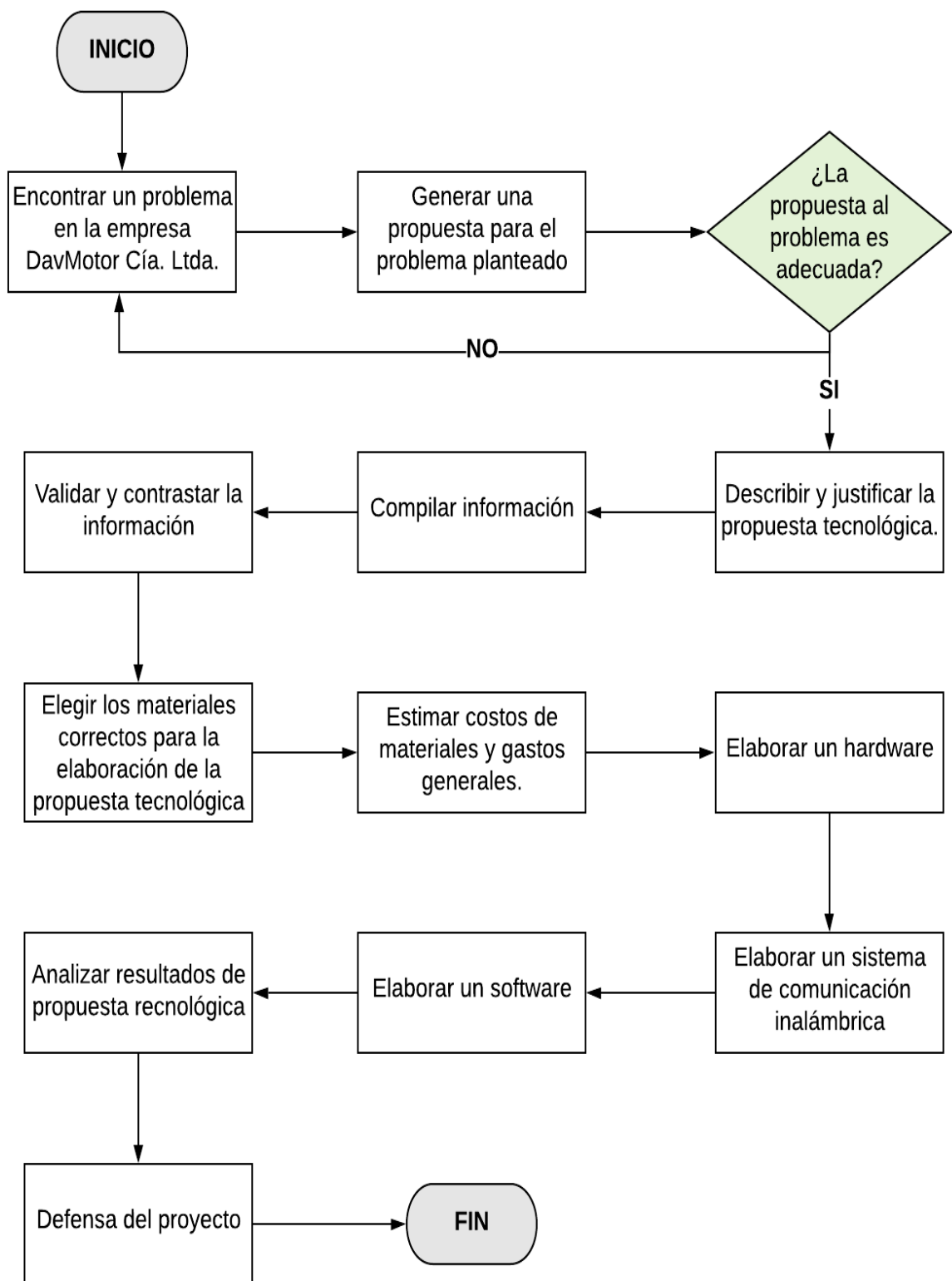
En la imagen a continuación se evidencia la estructura física de los componentes que conforman el hardware de la propuesta tecnológica.



**Figura 4.1.** Estructura y componentes físicas de la propuesta.

**4.5. Procedimiento del proyecto**

A continuación, se detalla mediante un flujograma con su respectiva descripción de tareas, el procedimiento llevado a cabo para la ejecución del proyecto.



**Figura 4.2.** Flujograma del procedimiento para el desarrollo del proyecto

**Tabla 4.1.** Descripción del procedimiento para la elaboración de la propuesta tecnológica.

| <b>N°</b> | <b>ACTIVIDAD.</b>  | <b>TAREA.</b>  |
|-----------|--|--|
| 1.        | <b>Inicio.</b>   | Inicio del proyecto.   |
| 2.        | <b>Encontrar un problema en la empresa DavMotor.</b>     | Durante el transcurso de las prácticas pre profesionales, se dio apertura al conocimiento de procesos en el ámbito profesional, la empresa DavMotor Cía. Ltda. fue el lugar elegido para encontrar, estudiar y dar una solución a posibles problemas que se suscitan en el ámbito profesional. |
| 3.        | <b>Generar una propuesta para el problema planteado.</b> | Al detectar un posible problema se generan ideas entre los autores del proyecto, enfocados en establecer una estrategia de solución que se encuentre dentro de las capacidades de un ingeniero industrial.   |
| 4.        | <b>Describir y justificar la propuesta.</b>              | Se describe en que consiste la idea o propuesta escogida, además de argumentar la decisión tomada respecto al tema escogido.   |
| 5.        | <b>Compilar información.</b>                             | Hace referencia a la investigación de estudios ya realizados afines o semejantes a la propuesta planteada, se recolecta gran cantidad de datos que serán la base y guía para el desarrollo de la presente propuesta.   |
| 6.        | <b>Validar y contrastar la información.</b>              | Esta tarea cumple la función de detallar referencias bibliográficas en el trabajo escrito, contrastando lo más importante afín al tema propuesto.  |
| 7.        | <b>Elegir los materiales correctos.</b>                  | Tomar la decisión de adquirir los materiales en función de obtener los mejores resultados para la propuesta.   |
| 8.        | <b>Estimar costos de materiales y gastos generales.</b>  | Presupuestar los materiales tecnológicos e insumos necesarios en las diferentes tiendas tecnológicas, a fin de adquirirlos en el lugar más óptimo.   |
| 9.        | <b>Elaborar un hardware.</b>                             | Diseñar una estructura física con los componentes eléctricos y electrónicos, de tal manera que se pueda utilizar con seguridad y se adapte a las necesidades de medición.  |
| 10.       | <b>Elaborar una red de comunicación inalámbrica.</b>     | Con la adquisición de módulos de comunicación inalámbrica y la ayuda de softwares de programación, se diseñará una red multipunto y un sistema de monitoreo.   |
| 11.       | <b>Elaborar un software.</b>                             | Se creará un software con la ayuda del código de programa para una CPU adecuada y un lenguaje de programación gráfica para la lectura de datos e interpretación de estos respectivamente, con un enfoque en de monitoreo en tiempo real.   |
| 12.       | <b>Analizar resultados de la propuesta tecnológica.</b>  | Se detalla los resultados alcanzados en función a los objetivos planteados, con la finalidad de generar recomendaciones y conclusiones para la propuesta tecnológica.  |
| 13.       | <b>Defensa del proyecto.</b>                             | Defender el proyecto ante un tribunal de lectores y tutor.   |
| 14.       | <b>Fin.</b>  | Finalización del proyecto.   |

#### **4.6. Análisis de toma de decisión para escoger una tecnología adecuada**

Para el análisis de los diferentes tipos de tecnologías a usarse es importante determinar los criterios y alternativas tomando en cuenta un orden específico para ir escogiendo componentes y tecnologías adecuadas.

El orden escogido para este estudio es iniciar con la decisión del protocolo de comunicación para la tecnología inalámbrica a usarse, posteriormente determinar el componente óptimo para el proyecto que es compatible con dicha tecnología, luego se ponderará valores para escoger el computador, controlador o microcontrolador con el que funcionará el sistema y finalmente se tomará en cuenta los sensores o elementos primarios que son compatibles con toda la red que se ha conformado.

Al final de esta sección se determinará un listado de componentes electrónicos que permitirán visualizar los datos en una interfaz de computador.

El método usado para escoger los componentes a usarse en la propuesta tecnológica es el método ordinal de criterios ponderados para obtener el peso relativo de cada criterio, y posteriormente se utilizará un juicio de valor para dar una puntuación a cada variable, componente o sistema propuesto, todo esto a partir de datos bibliográficos sintetizados en cada apartado de esta sección.

El método ordinal de criterios ponderados permite realizar una estimación objetiva y cuantitativa para aumentar la seguridad de la decisión de uso de componentes y tecnologías de la propuesta.

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. [27, p. 59]

El método ordinal corregido de criterios permite establecer un orden de los criterios en donde se puede calificar a cada uno de ellos de acuerdo a la tabla siguiente.

**Tabla 4.2.** Análisis de confrontación de columnas y filas de criterios

| <b>Criterio</b>   | <b>Símbolo</b> | <b>Valoración</b> |
|---|----------------|-------------------|
| Criterio de filas es superior o más importante que el de columnas   | >              | 1                 |
| Criterio de filas es igual que el de columnas                       | =              | 0,5               |
| Criterio de filas es inferior o menos importante que el de columnas | <              | 0                 |

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). [27, p. 60]

Con la confrontación de cada criterio en columnas y filas se obtiene un peso relativo (al dividir cada resultado total de la fila para el total de columna) que permitirá aplicar un juicio de valor y realizar una toma de decisiones con el método de ponderación de factores en donde se asignará una puntuación puntoaje a cada alternativa de acuerdo a lo siguiente.

- 5 – muy óptimo
- 4 – óptimo
- 3 – medio
- 2 – regular
- 1 - malo

Es importante recalcar que la puntuación asignada a cada alternativa depende del juicio de valor de los autores del presente proyecto, es decir, la puntuación dependerá de la experiencia y los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de formación profesional, además al calificar alternativas de costos, un precio con asignación “muy óptimo” resulta ser bajo, y un precio con asignación “malo” resulta ser muy elevado, de la misma manera un sistema con más simplicidad de programación, parametrización, conexión, configuración resultará “más óptimo”; de esta manera la lógica indica que la alternativa con una puntuación mayor es aquella que se debe escoger. El valor más bajo para calificar es “1” esto debido a que no se puede tener una alternativa nula al multiplicarse por “0”.

Para el método de ponderaciones es necesario aplicar la fórmula matemática mostrada a continuación.

$$Puntuación\ Total = \sum(P\ r\ c * P.\ a) \quad (4.6.1.)$$

Donde:

*P r c* = Peso relativo del criterio: (%)

*P.a* = Puntaje asignado a la alternativa: (adimensional)

El resultado mayor de todas las alternativas evaluadas será el idóneo o la alternativa a elegir.

#### 4.6.1. Evaluación de alternativa de protocolos de comunicación

Para comparar los protocolos de comunicación con más uso y por ende con más alternativas en términos de compatibilidad se ha escogido tres protocolos que permiten realizar conexión multipunto, para evaluar esta alternativa se ha extraído la Tabla 4.3., para posteriormente tener un sustento de asignación de puntajes en el método ponderado Tabla 4.4.

**Tabla 4.3.** Comparativa de protocolos de comunicación

| <i>Protocolo/<br/>Características</i>                     | <b>Protocolo IEEE<br/>802.11 (Wireless)</b>         | <b>Protocolo IEEE<br/>802.15 (Bluetooth)</b>                              | <b>Protocolo ZigBee (basado<br/>en el estándar IEEE<br/>802.15.4)</b> |
|---|---|---|---|
| <b>Velocidad promedio<br/>de transmisión de<br/>datos</b> | 54 Mbps (teórica<br>máxima)                         | 720 kbps  | 250 kbps (hasta 600 kbps<br>en distancias cortas)                     |
| <b>Disponibilidad<br/>promedio</b>                        | 95 %  | 95%   | 95%   |
| <b>Principales topologías<br/>de red</b>                  | Punto a Punto<br>Punto a<br>Multipunto<br>Redes LAN | Punto a punto (baja<br>potencia)<br>Punto a multipunto<br>(baja potencia) | Punto a punto<br>Punto a Multipunto<br>MESH                           |
| <b>Costos mínimos<br/>referenciales</b>                   | 200 \$  | 75 \$   | 120\$   |

A partir de una comparativa con datos básicos e importantes para la propuesta tecnológica se puede asignar puntuaciones cuantitativas con una visión objetiva de cada autor. La Tabla 4.4. determina un peso relativo para cada criterio, mientras que la Tabla 4.5. brinda un apoyo para determinar el protocolo de comunicación a usar en la propuesta tecnológica.

**Tabla 4.4.** Método ordinal de criterios ponderados para escoger protocolos de comunicación

| <b>MÉTODO ORDINAL DE CRITERIOS PONDERADOS</b>  |  |       |                            |                          |   |                   |                                      |
|--|--|-------|----------------------------|--------------------------|---|-------------------|--------------------------------------|
| <i>Compatibilidad de conexión multipunto = Costo &gt; Simplicidad de conexión &gt; Disponibilidad de la red &gt; Velocidad de transmisión de datos</i> |  |       |                            |                          |   |                   |                                      |
| <b>CRITERIOS</b>   | Compatibilidad<br>conexión<br>multipunto | Costo | Simplicidad de<br>conexión | Disponibilidad<br>de red | Velocidad de<br>transmisión de<br>datos | Suma total +<br>1 | <b>PESO<br/>RELATIVO<br/>(P r c)</b> |
| Compatibilidad<br>conexión multipunto  |  | 0,5   | 1                          | 1                        | 1                                       | 4,5               | 30,00%                               |
| Costo  | 0,5                                      |       | 1                          | 1                        | 1                                       | 4,5               | 30,00%                               |
| Simplicidad de<br>conexión   | 0  | 0     |                            | 1                        | 1                                       | 3                 | 20,00%                               |
| Disponibilidad de red  | 0  | 0     | 0                          |                          | 1                                       | 2                 | 13,33%                               |
| Velocidad de<br>transmisión de datos   | 0  | 0     | 0                          | 0                        |   | 1                 | 6,67%                                |
| <b>TOTALES</b>   |  |       |                            |                          |   | <b>15</b>         | <b>1</b>                             |

El peso relativo para cada criterio queda definido de acuerdo al método ordinal de criterios ponderados, a continuación se aplica la metodología de factores ponderados para determinar la decisión adecuada.

**Tabla 4.5.** Método de factor ponderado para elección de un protocolo de comunicación

| <b>FACTORES PONDERADOS PARA ELECCIÓN DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN</b> |                                    |       |  |                       |                                   |                         |
|---|------------------------------------|-------|--|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| <b>PESO RELATIVO (P r c)</b>  | 0,300                              | 0,300 | 0,200                                    | 0,133                 | 0,067                             | <b>PUNTUACIÓN TOTAL</b> |
| <b>CRITERIOS</b>  | Compatibilidad conexión multipunto | Costo | Simplicidad de configuración de conexión | Disponibilidad de red | Velocidad de transmisión de datos |                         |
| <b>PROTOCOLOS</b>   |                                    |       |  |                       |                                   |                         |
| Protocolo IEEE 802.11 (Wireless)                                      | 5                                  | 3     | 3  | 4                     | 5                                 | 3,8667                  |
| Protocolo IEEE 802.15 (Bluetooth)                                     | 3                                  | 4     | 5  | 4                     | 4                                 | 3,9000                  |
| Protocolo ZigBee (basado en el estándar IEEE 802.15.4)                | 5                                  | 4     | 4  | 4                     | 3                                 | <b>4,2333</b>           |

Se determina como mejor opción la red basada en el estándar IEEE 802.15.4, protocolo ZigBee

#### 4.6.2. Evaluación de alternativas de módulos de transmisión y recepción de datos

Para realizar la comparativa de módulos de comunicación para envío y transmisión de datos se optó por escoger la tecnología XBee, ya que es un módulo inalámbrico que permite la conexión con protocolo ZigBee y posee entradas analógicas, es decir, la decisión está basada en la serie de las placas XBee.

Una de las ventajas de estos XBee, es que todos, independiente del modelo o serie, tienen los pines en la misma disposición. Alimentación, tierra y los pines de comunicación (TX/RX) se encuentran en el mismo lugar, haciendo que los chip sean totalmente intercambiables, para la mayoría de las aplicaciones.

Es importante tomar en cuenta que los módulos XBee pueden solo trabajar dentro de una red en donde se usa la misma serie de los mismos, es importante tomar en cuenta conceptos básicos, [28] afirma que. “Los módulos XBee son dispositivos que integran un transmisor – receptor de ZigBee y un procesador de un mismo módulo, lo que permite a los usuarios desarrollar aplicaciones de manera rápida y sencilla” (p. 3). Se presenta la siguiente tabla en donde se tiene una comparativa de las distintas series de los módulos XBee que forman parte de las alternativas de decisión.

**Tabla 4.6.** Comparativa entre módulos XBee para asignación de puntajes

| <i>Modelo/<br/>Característica</i>        | <b>XBee (S2C)</b>                                | <b>XBee Series1</b>                                | <b>XBee Series2</b>                                       | <b>XBee-PRO XSC</b>                 | <b>XTend 900 MHz</b>                |
|--|--|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Frecuencia</b>                        | 2,4 GHz  | 2,4 GHz  | 2,4 GHz   | 900 megaciclos                      |                                     |
| <b>Alcance máximo de línea de visión</b> | XBee ZigBee: 1,2 km<br>XBee - PRO ZigBee: 3,2 km | XBee 802.15.4: 90 m<br>XBee - PRO 802.15.4: 1,6 km | XBee DigiMesh 2.4: 90m<br>XBee - PRO DigiMesh 2.4: 1.6 km | 45 km (W / antena de alta ganancia) | 64 km (W / antena de alta ganancia) |
| <b>Velocidad de datos</b>                | RF: 250kbit / s<br>Serie: 1Mbit / s              | 250kbit / s  | 250kbit / s   | 10kbit / so<br>20kbit / s           | 10kbit / so<br>125kbit / s          |

|                                       |  |             |  |                |                 |
|---------------------------------------|--|-------------|--|----------------|-----------------|
| <b>Máxima potencia de transmisión</b> | XBee ZigBee:<br>6,3 mW (8dBm)<br>XBee - PRO<br>ZigBee: 63 mW (18dBm) | 1 mW (0dBm) | XBee DigiMesh 2.4: 1 mW (0dBm)<br>XBee - PRO DigiMesh 2.4: 63 mW (18dBm) | 250 mW (24dBm) | 1000 mW (30dBm) |
| <b>Protocolo de comunicación</b>      | ZigBee   | ZigBee      | ZigBee   | ZigBee         | ZigBee          |
| <b>Temperatura de funcionamiento</b>  | -40 A 85 °C  | -40 A 85 °C | -40 A 85 °C  | -40 A 85 °C    | -40 A 85 °C     |
| <b>Entradas ADC</b>                   | 4 (10 bits)  | 4 (10 bits) | 6 (10 bits)  | 6 (10 bits)    | 6 (10 bits)     |
| <b>Interfaces de datos en serie</b>   | UART, SPI  | UART        | UART   | UART, SPI      | UART            |

A partir de este análisis es posible aplicar la metodología descrita anteriormente para toma de decisiones, en las siguientes tablas se observa el método y el resultado obtenido corresponde al uso de módulos XBee Series 2, de esta manera se satisface la necesidad de cumplir con un módulo que soporte la conexión punto – multipunto y sea compatible con el protocolo ZigBee.

Es importante destacar que para un funcionamiento más óptimo de los módulos XBee se considera la adquisición de XBee Explorer USB esto permite programar desde un ordenador sin dificultad mediante el puerto USB los módulos para su comunicación.

**Tabla 4.7.** Método ordinal de criterios ponderados para escoger módulos de comunicación

| <b>MÉTODO ORDINAL DE CRITERIOS PONDERADOS</b>  |       |  |                                  |  |                |                              |
|--|-------|--|----------------------------------|--|----------------|------------------------------|
| <i>Costo = Disponibilidad de componentes en el país &gt; Facilidad de conexión &gt; Compatibilidad con otros dispositivos electrónicos</i> |       |  |                                  |  |                |                              |
| <b>CRITERIOS</b>   | Costo | Disponibilidad de componentes en el país | Facilidad de conexión multipunto | Compatibilidad con otros dispositivos electrónicos | Suma total + 1 | <b>PESO RELATIVO (P r c)</b> |
| Costo  |       | 0,5                                      | 1                                | 1  | 3,5            | 35%                          |
| Disponibilidad de componentes en el país   | 0,5   |  | 1                                | 1  | 3,5            | 35%                          |
| Facilidad de conexión multipunto   | 0     | 0  |                                  | 1  | 2              | 20%                          |
| Compatibilidad con otros dispositivos electrónicos   | 0     | 0  | 0                                |  | 1              | 10%                          |
| <b>TOTALES</b>   |       |  |                                  |  | <b>10</b>      | <b>100%</b>                  |

**Tabla 4.8.** Método de factores ponderados para elección de módulos de comunicación

| <b>FACTORES PONDERADOS PARA ELECCIÓN DE MÓDULOS DE COMUNICACIÓN (ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS)</b> |       |  |                                  |  |                         |
|--|-------|--|----------------------------------|--|-------------------------|
| <b>PESO RELATIVO (P r c)</b>   | 0,35  | 0,35                                     | 0,2                              | 0,1  | <b>PUNTUACIÓN TOTAL</b> |
| <b>CRITERIOS</b>   | Costo | Disponibilidad de componentes en el país | Facilidad de conexión multipunto | Compatibilidad con otros dispositivos electrónicos |                         |
| <b>MÓDULO</b>  |       |  |                                  |  |                         |
| XBEE SERIES 1  | 5     | 3  | 3                                | 3  | 3,7                     |
| XBEE SERIES 1 PRO  | 2     | 3  | 4                                | 2  | 2,8                     |
| XBEE SERIES 2  | 4     | 4  | 5                                | 4  | <b>4,2</b>              |
| XBEE SERIES 2C   | 3     | 3  | 5                                | 4  | 3,5                     |
| XBEE PRO XCS   | 2     | 3  | 4                                | 4  | 3,0                     |
| XBEE 900 Hz  | 3     | 3  | 5                                | 4  | 3,5                     |
| XBEE SERIES 3  | 2     | 3  | 4                                | 4  | 3,0                     |

### 4.6.3. Evaluación de alternativas de Unidad Central para procesamiento de datos

En este punto del estudio es necesario tomar en cuenta las tecnologías y componentes más usados en la región, se ha escogido los componentes comparados en la Tabla 4.9. y de esta manera se desarrolla el método de toma de decisiones (Tabla 4.10. y Tabla 4.11.) , en donde se establece a la placa electrónica Arduino como la opción más viable, el fabricante de la placa Arduino escogido es “UNO” debido a su alta compatibilidad con los elementos que conforman la conexión del medidor de vibraciones, su costo accesible y su alta disponibilidad en tiendas electrónicas del país.

**Tabla 4.9.** Comparativa de unidades centrales de procesamiento

| <i>Variable – Componente</i>              | <b>Arduino UNO</b>  | <b>Raspberry Pi</b>                 | <b>Controlador lógico programable (LOGO Siemens)</b>    |
|---|---|-------------------------------------|---|
| <b>Costo Promedio</b>                     | 20 \$   | 75 \$                               | 150 \$  |
| <b>Orientación de aplicación</b>          | Microcontrolador (aplicaciones de mediana y baja envergadura) | Computador (aplicaciones complejas) | Computador (Aplicaciones complejas)                     |
| <b>Memoria RAM</b>                        | 2 Kb  | 256 Mb                              | 2 Mb  |
| <b>Voltaje de entrada</b>                 | 7 – 12 V DC   | 5 V                                 | Dependiendo la serie:<br>12 – 24 V DC<br>110 – 220 V AC |
| <b>Entradas analógicas</b>                | SI  | SI                                  | SI (dependiendo de la serie)                            |
| <b>Puerto Ethernet</b>                    | N/A   | SI                                  | SI  |
| <b>Principal lenguaje de programación</b> | Basado en C++   | Basado en Phyton                    | FBD y LD  |

**Tabla 4.10.** Método ordinal de criterios ponderados para elección de CPU

| <b>MÉTODO ORDINAL DE CRITERIOS PONDERADOS</b>   |   |       |                             |   |                |                              |
|---|---|-------|-----------------------------|---|----------------|------------------------------|
| <i>Orientación hacia la aplicación deseada = Costo &gt; Simplicidad de programación = Compatibilidad con plataformas informáticas</i> |   |       |                             |   |                |                              |
| <b>CRITERIOS</b>  | Orientación hacia la aplicación deseada | Costo | Simplicidad de programación | Compatibilidad con plataformas informáticas | Suma total + 1 | <b>PESO RELATIVO (P r c)</b> |
| Orientación hacia la aplicación deseada   |   | 0,5   | 1                           | 1   | 3,5            | 35%                          |
| Costo   | 0,5                                     |       | 1                           | 1   | 3,5            | 35%                          |
| Simplicidad de programación   | 0                                       | 0     |                             | 0,5   | 1,5            | 15%                          |
| Compatibilidad con plataformas informáticas   | 0                                       | 0     | 0,5                         |   | 1,5            | 15%                          |
| <b>TOTALES</b>  |   |       |                             |   | <b>10</b>      | <b>100%</b>                  |

**Tabla 4.11** Factores ponderados para la elección de una unidad central de procesamiento

| <b>FACTORES PONDERADOS PARA ELECCIÓN DE UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO</b> |   |       |                             |   |                         |
|---|---|-------|-----------------------------|---|-------------------------|
| <b>PESO RELATIVO (P r e)</b>  | 0,35                                    | 0,35  | 0,15                        | 0,15  |                         |
| <b>CRITERIOS</b>  | Orientación hacia la aplicación deseada | Costo | Simplicidad de programación | Compatibilidad con plataformas informáticas | <b>PUNTUACIÓN TOTAL</b> |
| <b>CPU</b>  |   |       |                             |   |                         |
| Placa electrónica Arduino UNO   | 5                                       | 4     | 3                           | 5   | <b>4,35</b>             |
| Placa computadora RaspBerry Pi  | 3                                       | 3     | 3                           | 4   | 3,15                    |
| Módulo computador (Controlador lógico programable)                          | 3                                       | 2     | 5                           | 4   | 3,1                     |

Se escoge la placa Arduino UNO

#### 4.6.4. Evaluación de alternativas para elección de elementos primarios o sensores

Para la asignación de puntajes de elementos primarios o sensores de vibración que se acoplen a la red diseñada y decidida con la ayuda de los métodos ponderados se ha descartado todos aquellos que emiten una señal digital y se ha escogido tres sensores con salida de señal analógica, que permitan realizar el control de calidad de sellado de una manera correcta.

La Tabla 4.12. realiza una comparativa entre tres sensores de vibración analógicos que pueden adaptarse al sistema decidido hasta el momento, así mismo la Tabla 4.13. evalúa mediante el método ordinal ponderado los criterios que son de gran relevancia en la presente propuesta, para obtener su peso relativo y mediante las asignaciones de puntajes Tabla 4.14. tomar la decisión adecuada sobre cual elemento usar.

**Tabla 4.12.** Comparativa entre sensores de vibración

| <b>Variable – Elemento</b>                            | <b>Sensor Piezoeléctrico de vibración con módulo KY0138</b> | <b>Sensor Piezoeléctrico LDT0 - 028 K/L</b>   | <b>Acelerómetro ADXL 335</b>  |
|---|---|---|---|
| <b>Voltaje de entrada</b>                             | 3.3 – 5 V DC  | 3.3 – 5 V DC                                  | 3.3 – 5V DC   |
| <b>Facilidad de interpretación de señales</b>         | Cambios de voltaje cambian valor de vibración               | Cambios de voltaje cambian valor de vibración | Señales de cambios de posición adaptadas con modelos matemáticos – cambian valor de vibración |
| <b>Referencia de costos</b>                           | Bajo  | Bajo  | Bajo  |
| <b>Pines de conexión</b>                              | 3   | 3   | 3   |
| <b>Tipo de señal</b>                                  | Analógica   | Analógica                                     | Analógica   |
| <b>Consumo de corriente</b>                           | Bajo  | Bajo  | Bajo  |
| <b>Disponibilidad en tiendas electrónicas Ecuador</b> | Mediana   | Baja  | Alta  |
| <b>Cableado hacia módulo</b>                          | Si  | No  | No  |

A continuación, se muestra el método usado para elección de sensores de vibración, de esta manera el sistema queda conformado en su totalidad con elementos compatibles entre sí y óptimos para la propuesta tecnológica

**Tabla 4.13.** Método ordinal de criterios ponderados para elección de sensores de vibración

| <b>MÉTODO ORDINAL DE CRITERIOS PONDERADOS</b>  |  |       |  |   |                |                              |
|--|--|-------|--|---|----------------|------------------------------|
| <i>Facilidad de interpretación de señales &gt; Costo = Disponibilidad de componentes en el país &gt; Facilidad de conexión al sistema conformado</i> |  |       |  |   |                |                              |
| <b>CRITERIOS</b>   | Facilidad de interpretación de señales | Costo | Disponibilidad de componentes en el país | Facilidad de conexión al sistema conformado | Suma total + 1 | <b>PESO RELATIVO (P r c)</b> |
| Facilidad de interpretación de señales   |  | 1     | 1  | 1   | 4              | 40%                          |
| Costo  | 0                                      |       | 0,5                                      | 1   | 2,5            | 25%                          |
| Disponibilidad de componentes en el país   | 0                                      | 0,5   |  | 1   | 2,5            | 25%                          |
| Facilidad de conexión al sistema conformado  | 0                                      | 0     | 0  |   | 1              | 10%                          |
| <b>TOTALES</b>   |  |       |  |   | <b>10</b>      | <b>100%</b>                  |

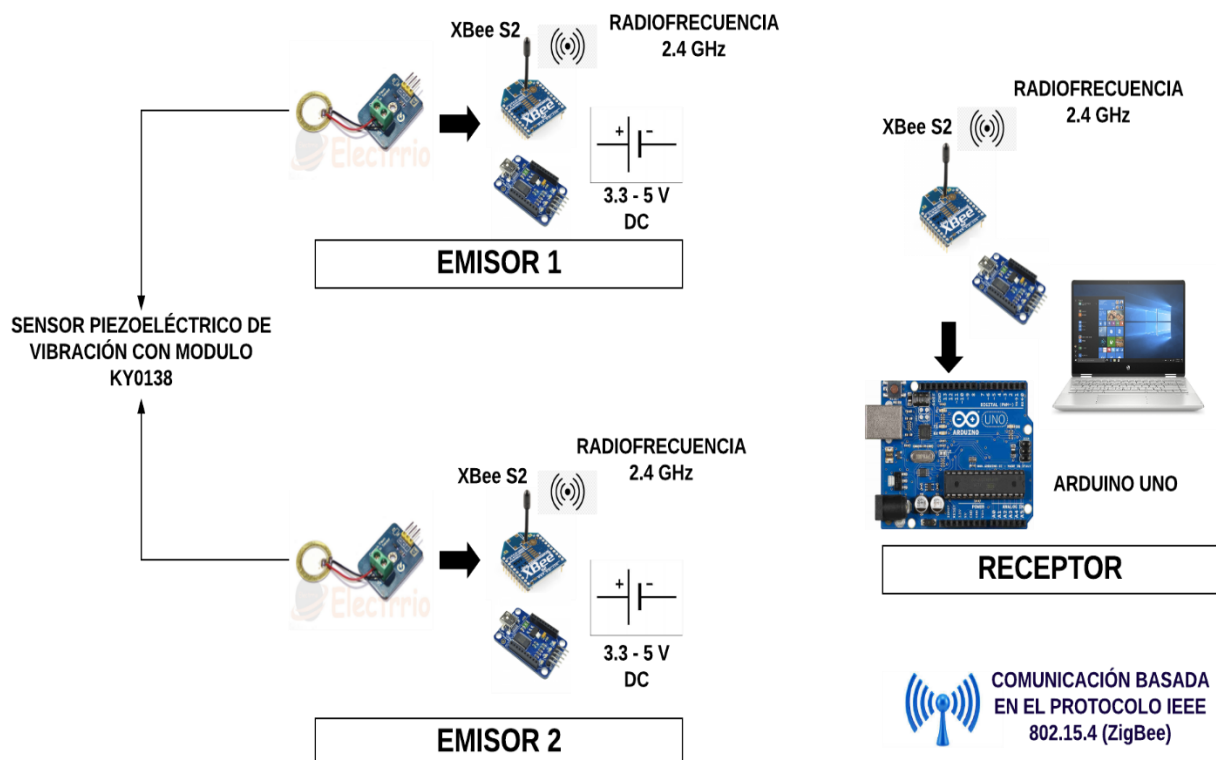
**Tabla 4.14.** Factores ponderados para la elección de sensores de vibración

| <b>FACTORES PONDERADOS PARA ELECCIÓN DE SENSORES (ELEMENTOS PRIMARIOS)</b> |  |       |  |   |                         |
|--|--|-------|--|---|-------------------------|
| <b>PESO RELATIVO (P r c)</b>   | 0,4                                    | 0,25  | 0,25                                     | 0,1   | <b>PUNTUACIÓN TOTAL</b> |
| <b>CRITERIOS</b>   | Facilidad de interpretación de señales | Costo | Disponibilidad de componentes en el país | Facilidad de conexión al sistema conformado |                         |
| <b>SENSOR</b>  |  |       |  |   |                         |
| <b>Sensor Piezoeléctrico de vibración con módulo KY0138</b>                | 5                                      | 4     | 4  | 4   | <b>4,4</b>              |
| <b>Sensor Piezoeléctrico LDT0 - 028 K/L</b>                                | 5                                      | 4     | 3  | 4   | 4,15                    |
| <b>Acelerómetro ADXL 335</b>   | 3                                      | 4     | 5  | 4   | 3,85                    |

#### 4.6.5. Construcción del medidor de vibraciones a partir de los elementos escogidos

El método ordinal de criterios ponderados conjuntamente con el método de ponderaciones que dieron soporte y apoyo a la decisión de que elementos y componentes electrónicos escoger para su interconexión, los criterios fueron evaluados de acuerdo a la importancia e incidencia dentro del criterio, de esta manera se obtuvo un peso relativo que sirve para obtener la puntuación total (Ecuación 4.6.1.) que indica el elemento a escoger.

El medidor de vibraciones propuesto puede observarse de acuerdo a la Figura 4.3. como una representación general de la interconexión de los elementos escogidos, se observa que los datos obtenidos en la medición son transmitidos inalámbricamente mediante radiofrecuencias hacia el módulo receptor conectado hacia el ordenador que funcionará como visualizador haciendo uso del



**Figura 4.3.** Disposición y conexión general de componentes de la propuesta tecnológica

La Tabla 4.15., muestra los elementos que fueron escogidos a través del método de decisión analizado y aplicado anteriormente, en donde se da una breve descripción de cada uno de ellos.

**Tabla 4.15.** Descripción de componentes electrónicos elegidos

| <b>Componente electrónico</b>      | <b>Descripción</b>   |
|------------------------------------|--|
| Sensor Piezoeléctrico de vibración | Elemento primario de detección de vibraciones, la deformación del material piezoeléctrico provoca cambios de voltaje que son directamente proporcionales a la vibración. Consta de un módulo (KY0138) para acondicionar señal y realizar conexiones de entrada y salida. |
| XBee S2                            | Módulo de comunicación mediante radiofrecuencias a 2.4 GHz, utilizando el protocolo ZigBee basado en el estándar 802.15.4. Es necesario usar un adaptador (XBee Explorer USB) para la comunicación entre un módulo XBee y un computador                                  |
| Arduino UNO                        | Placa microcontroladora equipada con pines de E/S digitales analógicas, al igual que diferentes pines para alimentación del mismo, transmisión y recepción de datos.   |

El Apéndice B del Anexo I muestra el diagrama de conexiones de los emisores y el receptor respectivamente, la interconexión complementada con la correcta programación conforma el medidor de vibraciones para control de calidad en el área de producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

#### **4.7. Análisis de comunicación entre módulos XBee S2 (Coordinador y Router)**

La propuesta tecnológica constará de dos sensores conectados a una XBee S2 cada uno, de esta manera el dato medido será codificado y enviado hacia el módulo XBee S2 coordinador, que a su vez estará interconectado con la placa Arduino UNO, esta configuración de hardware se muestra en la Figura 4.3.

Es de gran relevancia conocer que la parametrización de los módulos XBee S2 para su intercomunicación hace uso de numeración hexadecimal.

El sistema de numeración hexadecimal es un sistema de base 16. Igual que en el sistema decimal, cada vez que se tiene 10 unidades de un determinado nivel, se obtiene una unidad del nivel superior (diez unidades: una decena, diez decenas: una centena, etc.) en el hexadecimal cada vez que se juntan 16 unidades de un nivel se obtiene una unidad del nivel superior. En un sistema hexadecimal debe haber por tanto 16 dígitos distintos.

[29]

El sistema hexadecimal contiene 16 dígitos que conformarán un nivel superior, es usado para simplificar la “expresión binaria” dentro de códigos de programación informáticos. La Tabla 4.16. realiza una comparación entre el sistema binario, decimal y hexadecimal.

**Tabla 4.16.** Comparación entre sistemas binarios, decimal y hexadecimal

| Decimal | Binario | Hexa | Decimal | Binario | Hexa |
|---------|---------|------|---------|---------|------|
| 0       | 0000    | 0    | 8       | 1000    | 8    |
| 1       | 0001    | 1    | 9       | 1001    | 9    |
| 2       | 0010    | 2    | 10      | 1010    | A    |
| 3       | 0011    | 3    | 11      | 1011    | B    |
| 4       | 0101    | 4    | 12      | 1100    | C    |
| 5       | 0111    | 5    | 13      | 1101    | D    |
| 6       | 0110    | 6    | 14      | 1110    | E    |
| 7       | 0111    | 7    | 15      | 1111    | F    |

Fuente: [29]

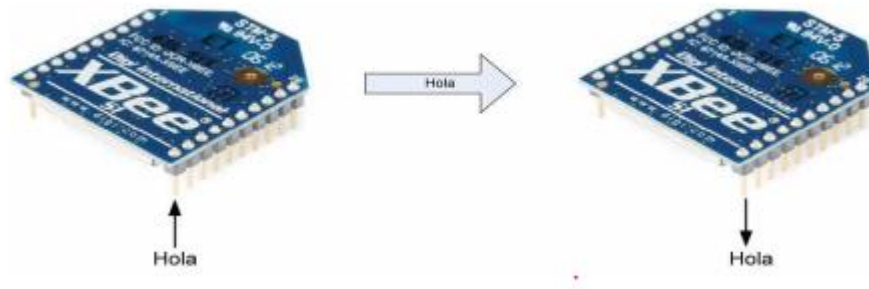
Como se observa la numeración hexadecimal es una manera de simplificar números binarios, un ejemplo sencillo de esto es un número binario  $00011100_2$ , que al dividirlo en secciones de a cuatro números y compararlo con la Tabla 4.16., se obtiene  $1C_{16}$  como número hexadecimal.

Un módulo XBee puede conectarse de manera independiente, así se puede enviar y recibir datos desde los routers hacia los coordinadores, es decir, enviar datos a un nodo central desde los sensores; de la misma manera un módulo XBee puede funcionar operando conjuntamente con un microcontrolador, la propuesta tecnológica hace uso de un Arduino UNO y en este caso el módulo XBee se comunica mediante el puerto serie con el microcontrolador. [30] afirma. “En el caso de Arduino, se comunican a través del puerto serie y envía la información, para que sea transmitida por el aire. El módulo XBee hace de interface con el microcontrolador a través de la UART (puerto-serie asíncrono)” (p. 34).

Los modos de operación conocidos para las placas XBee son el modo AT (modo transparente) y el modo API (interfaz de programación de aplicaciones), el modo transparente por su parte permite que el emisor reciba datos por su puerto serie e inmediatamente sean enviados hacia el módulo XBee receptor y lo que recibe este módulo es enviado de igual manera al puerto serie, como lo indica la Figura 4.4., por otra parte el modo de operación API crea una interfaz serie de paquetes correctamente organizados y en un orden específico, generalmente la información en este modo es enviada por tramas y ofrece ciertas ventajas al momento de parametrizar los módulos XBee, la Figura 4.5. muestra una comunicación en modo API.

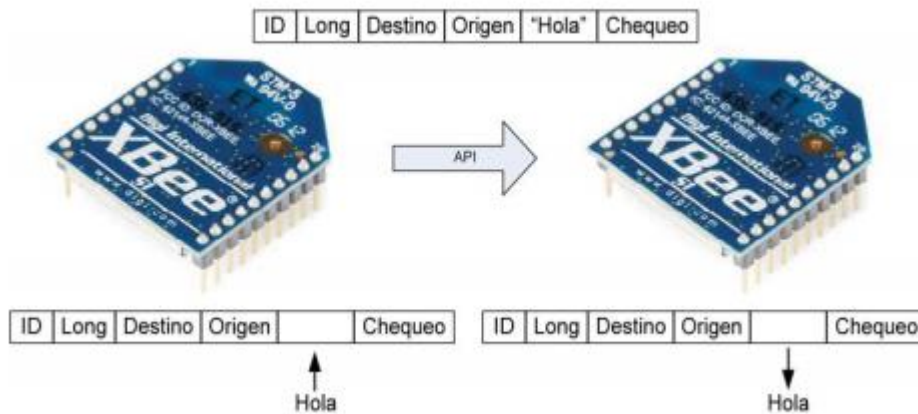
La propuesta tecnológica consta de tres módulos XBee Series 2, dos de ellos funcionarán en modo AT o transparente, ya que los sensores piezoeléctricos de vibración enviarán datos que

serán enviados inmediatamente hacia el receptor, este está interconectado con un microcontrolador Arduino UNO y por efectos de programación el módulo XBee receptor funcionará en modo API, de tal manera que reciba los datos de los routers (en modo AT), y pueda transmitirlos por su puerto serie hacia el microcontrolador, y la programación en el software Arduino permitirá determinar e imprimir las vibraciones tomadas por los sensores.



**Figura 4.4.** Modo de operación AT

**Fuente:** [30]



**Figura 4.5.** Modo de operación API

**Fuente:** [30]

Como se observa en la Figura 4.5. la transmisión de datos en modo API consta de tramas, que tienen una estructura propia, los módulos que funcionan en modo transparente son parametrizados en el software XCTU de tal manera que puedan comunicarse con el módulo coordinador.

Para efectos de programación del microcontrolador Arduino es necesario conocer ciertos comandos que intervienen dentro del programa para la lectura adecuada de estos.

A continuación en la Figura 4.6. se muestran los comandos AT para recepción en la trama API. Esto permite tener una referencia para lograr entender la programación Arduino.

|                                       | Byte | Ejemplo  | Descripción  |
|---------------------------------------|------|--|--|
| Trama API para recepción de datos I/O | 0    | 0x7E   | Byte de inicio - indica el comienzo del paquete de datos (frame)   |
|                                       | 1    | 0x00   |  |
|                                       | 2    | 0x14   |  |
|                                       | 3    | 0x92   | Tipo de frame 0x92 indica que es un muestreo de las entradas del XBee                                      |
|                                       | 4    | 0x00   | Dirección de origen de 64-bit (número de serie)  |
|                                       | 5    | 0x13   | MSB es el byte 4, LSB es el byte 11  |
|                                       | 6    | 0xA2   |  |
|                                       | 7    | 0x00   |  |
|                                       | 8    | 0x40   |  |
|                                       | 9    | 0x8B   |  |
|                                       | 10   | 0x78   |  |
|                                       | 11   | 0x4E   |  |
|                                       | 12   | 0xA4   | Dirección de 16-bit de la red de origen  |
|                                       | 13   | 0x02   |  |
|                                       | 14   | 0x01   | Opciones de recepción: 01 = Packet acknowledged 02 = Broadcast packet                                      |
|                                       | 15   | 0x01   | Número de muestras. Siempre debe ser 1 dadas las limitaciones de XBee                                      |
|                                       | 16   | 0x00   | Máscara para el canal digital, indica que pines están configurados como DIO                                |
|                                       | 17   | 0x30   |  |
|                                       | 18   | 0x01   | Máscara para el canal analógico, indica cuales pines están configurados como ADC                           |
|                                       | 19   | 0x00   | Lectura de los canales digitales. Estos dos bytes contienen los estados de los pines configurados como DIO |
|                                       | 20   | 0x20   |  |
|                                       | 21   | 0x02   | Lectura del canal analógico.   |
|                                       | 22   | 0x0C   | Cada canal entrega 2 bytes con el resultado de la lectura del ADC  |
| 23                                    | 0x20 | Checksum (0xFF - la suma de todos los bytes desde el byte 3 a hasta el último) |  |

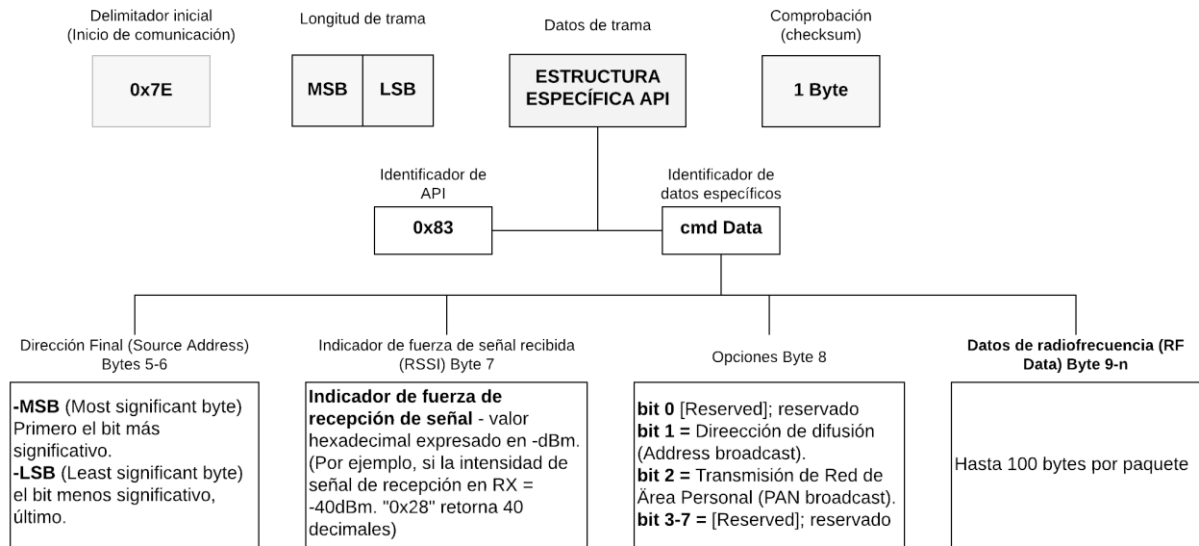
**Figura 4.6.** Comandos AT para le recepción en la trama API

**Fuente:** [30]

Como se observa cada byte de la trama API para recepción de datos (provenientes de módulos en modo AT) contiene una función y es de vital importancia recalcar el byte 1 que indica el comienzo del frame, trama o paquete de datos, de igual manera es importante recalcar la funcionalidad del byte 21 que permite la lectura del canal analógico. [31] afirma: “La unidad mínima de direccionamiento se define como la cantidad de información que se almacena en una posición de la memoria a la que se refiere una dirección”. Dicha unidad mínima de direccionamiento es conocida como un byte que consta de 8 bits, es decir, un byte es un conjunto ordenado de 8 bits que conforman una unidad de información, un ejemplo es el tamaño de una memoria RAM que está dado en bytes.

La estructura de una trama API para recepción de datos puede ser analizada de acuerdo a la Figura 4.7. en donde se indican las partes principales de esta, posteriormente la Tabla 4.17.

describe brevemente cada parte de la estructura y luego la Tabla 4.18. brinda información acerca de una subparte de la estructura de la trama (FrameData o datos de trama).



**Figura 4.7.** Trama API

**Tabla 4.17.** Descripción de estructura de trama API

| Parte de la estructura                       | Descripción   |
|--|---|
| Delimitador inicial (Start Delimiter) [0x7E] | Indica el inicio de la trama (valor hexadecimal).   |
| Longitud de trama (Lenght; MSB Y LSB)        | Delimitan la longitud de la trama, aquí MSB son los valores más significativos y LSB los menos significativos.            |
| Estructura específica API (FrameData)        | En esta parte de la estructura se envía todo el mensaje, direccionamiento o configuración del módulo.                     |
| Suma de comprobación, Checksum (1 byte)      | Comprueba la integridad de datos enviados, las tramas enviadas por el puerto serie con checksum incorrecto son ignoradas. |

**Tabla 4.18.** Descripción de parte FrameData de la estructura de trama API

| Parte del FrameData                | Descripción   |
|------------------------------------|---|
| Identificador API 0x83             | Es el cuarto byte de la trama API, muestra la recepción de datos en un direccionamiento de 16 bits. |
| Bytes 5 y 6                        | Indican el bit más significativo y el menos significativo y la dirección.                           |
| Byte 7                             | Permite determinar el valor de potencia de señal.   |
| Byte 8                             | Muestran direccionamiento de broadcast (forma de transmisión de información).                       |
| Byte 9 hasta byte de longitud dado | Datos obtenidos del modo "cable virtual" provenientes de otro módulo.                               |

La comunicación entre los módulos XBee se basa en el modo de operación de los mismos y de su configuración dentro del software XCTU.

#### 4.8. Configuración del XBee S2 en el Programa XCTU

Para la correcta parametrización o configuración de los módulos XBee S2 es necesario acudir al software XCTU creado por DIGI, esta aplicación permite configurar parámetros en cada módulo XBee conectado hacia el ordenador, dichos parámetros en su mayoría se conservan por defecto permitiendo cambiar aquellos que son necesarios para una comunicación.

Antes de inicializar la parametrización es necesario cargar el firmware adecuado para cada módulo, tomando en cuenta que los dos módulos esclavos (routers) en la presente investigación serán parametrizados bajo el firmware ZigBee Router v 22A7 y su parametrización será idéntica en ambos dispositivos, por el contrario el módulo coordinador (conectado al microprocesador) será parametrizado bajo el firmware ZigBee Coordinator API v 21A7. Al momento de leer los módulos mediante la comunicación XBee – Ordenador (mediante cable USB en caso de contar con XBee USB Explorer) los parámetros de inicialización se dejarán por defecto tomando en cuenta que la comunicación se realizará a una velocidad de transmisión de 9600 baudios.

Una vez configurados los módulos con un firmware determinado se establece la mayoría de sus parámetros por defecto, configurando y escribiendo sobre el módulo únicamente los parámetros mostrados en la Tabla 4.19.

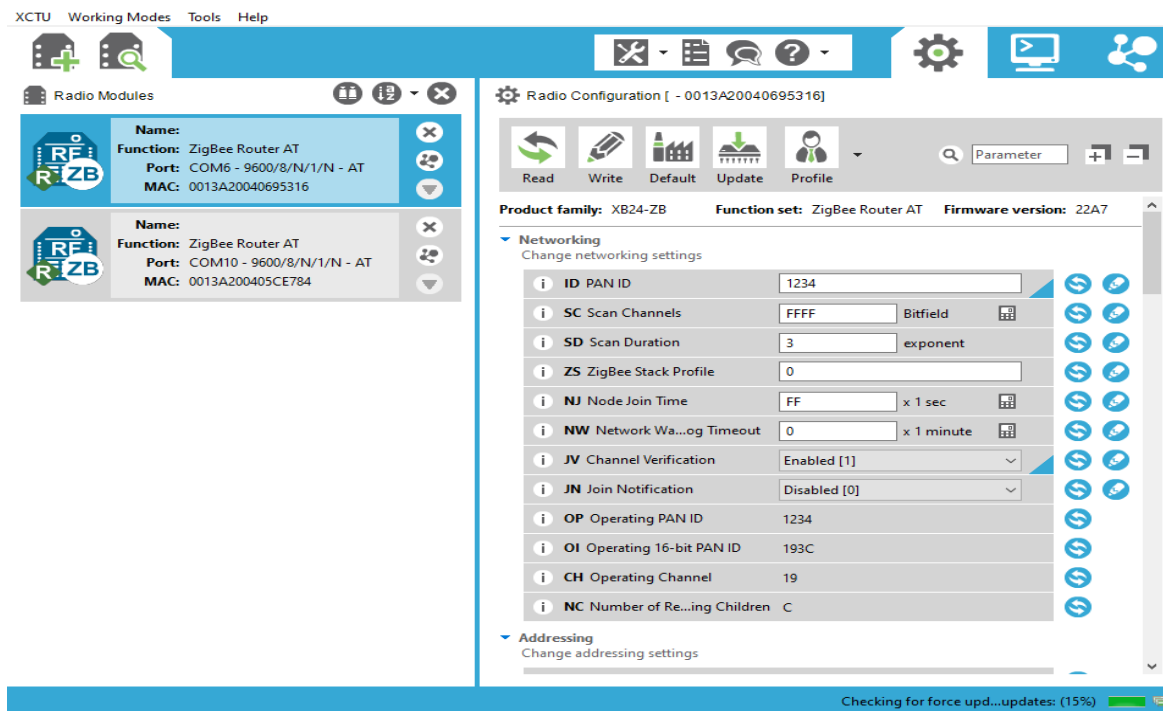
**Tabla 4.19.** Parámetros modificados para comunicación de módulos XBee S2 en XCTU

| Parámetro  | Valor   |
|--|---|
| <b>PARÁMETROS MODIFICADOS EN XBEE S2 COORDINADOR</b> |   |
| PAN ID   | Cualquier número (de preferencia entre 0 y 9999); debe ser el mismo en todos los módulos a comunicar. |
| <b>PARÁMETROS A MODIFICAR EN XBEE S2 ROUTER</b>      |   |
| PAN ID   | Cualquier número (de preferencia entre 0 y 9999); debe ser el mismo en todos los módulos a comunicar. |
| JV Channel Verification (Verificación de canal)      | Enable [1] o Activado   |
| D0 (Configuración de entradas y salidas)             | ADC [2]   |
| IR IO Sampling Rate o tasa de muestreo               | Configurar de acuerdo al tiempo que se desee en numeración hexadecimal.                               |

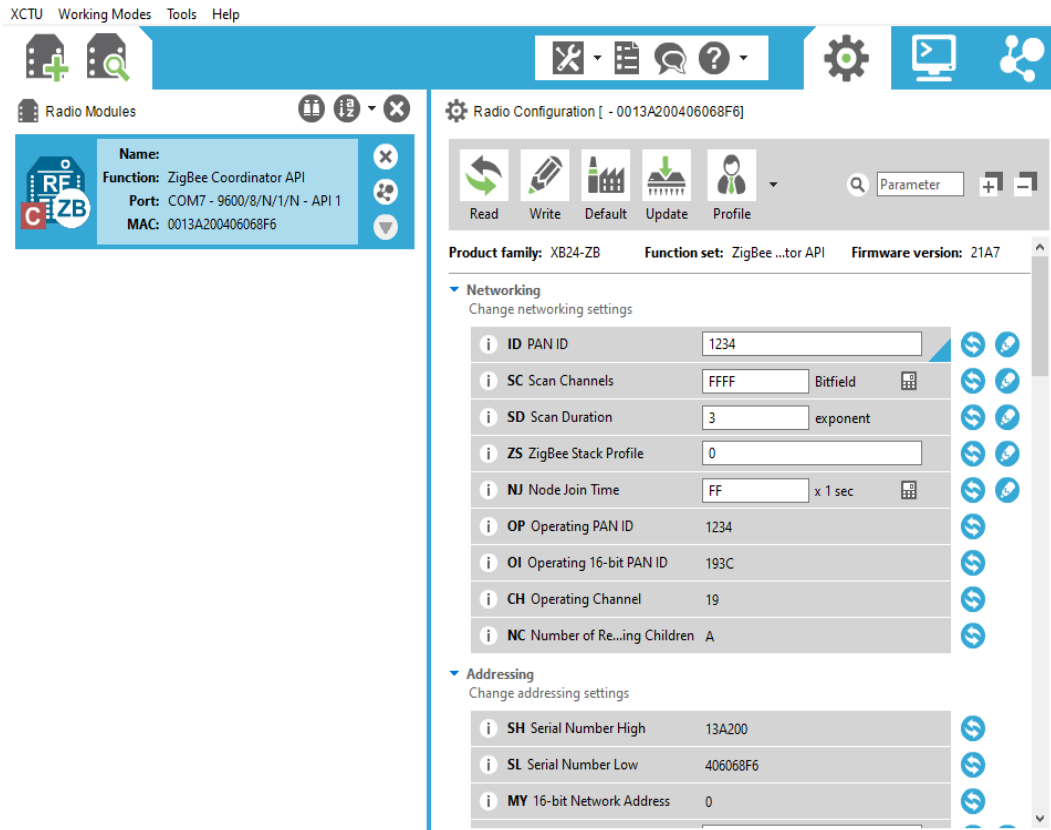
Descripción de cada parámetro de acuerdo a la Tabla 4.19.

- El parámetro PAN ID, permite dar un número de codificación único a la red, es decir si dos dispositivos se encuentran dentro de la misma PAN ID podrán iniciar una comunicación.
- El parámetro JV Channel Verification, al ser activado en la parametrización de los XBee S2 routers permite realizar una verificación del canal por el que se comunicará con su coordinador, de esta manera se direccionará la información desde el router hacia el coordinador por un solo canal.
- El parámetro D0 permite activar el pin de entrada/salida analógica de los dos módulos XBee S2 (routers), con el fin de poder recibir la señal analógica emitida por el sensor piezoeléctrico de vibración.
- El parámetro IR IO, configura el tiempo o la tasa de envío de datos analógicos provenientes de la entrada/salida configurada en el parámetro D0.

La Figura 4.8. y 4.9., muestran la interfaz de parametrización de los módulos XBee receptor y emisor respectivamente, al momento de parametrizar es necesario escribir sobre la placa (pulsando sobre el botón Read) para que se guarden los cambios efectuados.

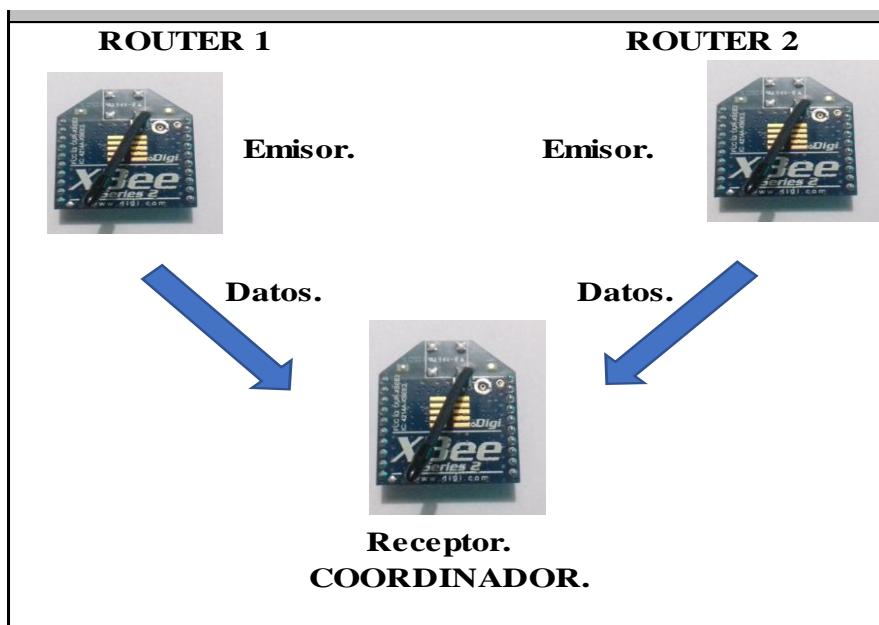


**Figura 4.8.** Configuración de los módulos XBee en modo router.



**Figura 4.9.** Configuración del módulo XBee en modo coordinador

La topología de la red luego de configurar los módulos XBee S2 queda definida de acuerdo a la Figura 4.10.



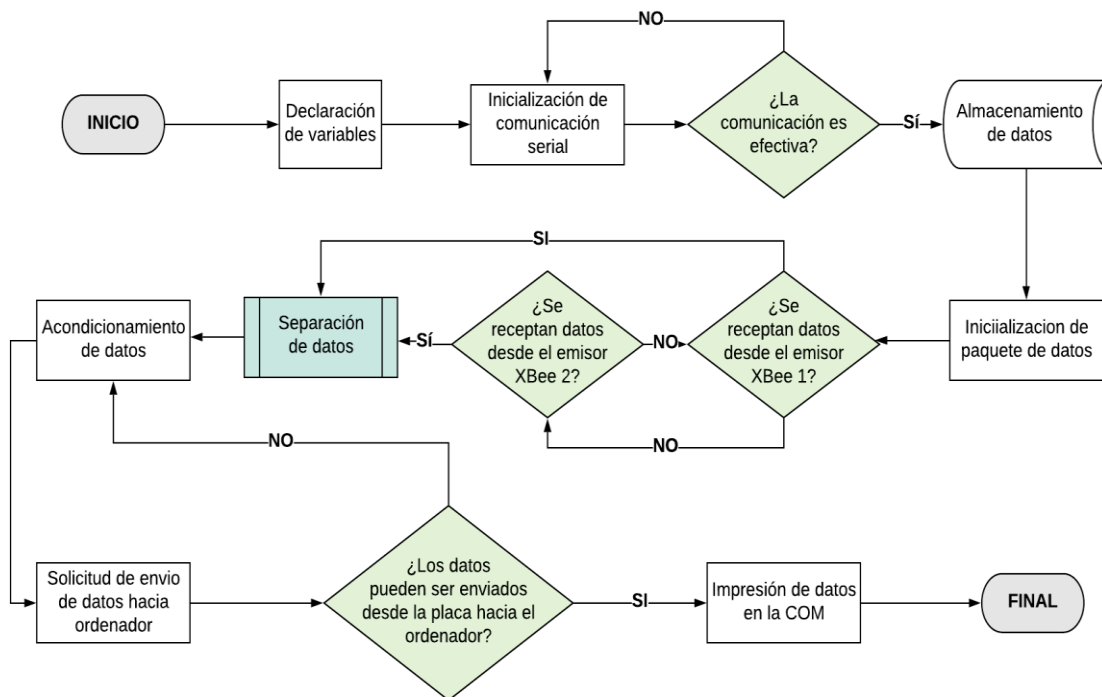
**Figura 4.10.** Topología de la red

Como se observa en la Figura 4.10. la red inalámbrica constará de 3 módulos XBee (con posibilidad de expansión), dos de ellos serán los emisores de señales (datos captados por sensores de vibración piezoeléctrico) que transmitirán mediante radiofrecuencias hacia un módulo receptor los datos mencionados.

El uso de cables para eliminar los módulos XBee resulta ser factible en el tema costos, no obstante, para una correcta operatividad es necesario tomar en cuenta la eliminación al máximo de cableado, esto permite que el instrumento sea más seguro, más flexible y estético.

La configuración de los XBee es diferente para cada funcionalidad y serie, es importante tomar en cuenta parámetros fundamentales como el firmware con el que van a funcionar los módulos, y su parametrización adecuada a fin de conformar una red multipunto de comunicación.

#### 4.9. Configuración y programación del programa Arduino (Algoritmo)



**Figura 4.11.** Flujograma del programa Arduino.

El programa Arduino está configurado para recibir datos de la placa UNO, estos datos provienen de 3 módulos XBee que están configurados por 2 Routers y 1 Coordinador, este último hace la función de recibir los datos de los sensores conectados a los routers, que posteriormente son enviados a la placa a través de su puerto serie para ser interpretados e impresos.

Es importante destacar que un código de programación Arduino consta de al menos tres elementos, las variables, el método setup (de iniciación) y el método loop (lazo o proceso); la interrelación de estos elementos puede ser impresos mediante el comando “Print” del programa Arduino.

El código responde a 3 elementos principales:

#### 4.9.1. Declarar Variables

La primera parte del código hace referencia a la declaración de variables para los datos que se va a obtener, es decir, darle un lugar o una etiqueta para facilitar la manipulación de los datos receptados.

Las variables tienen por lo general un identificador (nombre) y asignado el tipo de dato que se está utilizando, es decir, si almacena un número (entero), si es texto o alfanumérico (cadena), si es un valor verdadero o falso (lógico) también llamado booleano [32, p. 33].

Las variables utilizadas en el programa se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 4.20.** Declaración de variables del código de programa en Arduino

| Variable definida    | Tipo de variable | Descripción   |
|----------------------|------------------|---|
| int analogValue = 0; | Entera           | Declara variable para determinar el valor analógico que iniciará en 0                       |
| float datos1=0;      | Decimal          | Indica la declaración e inicio de la variable datos1 desde 0 y con retorno de valor decimal |
| float datos1=0;      | Decimal          | Indica la declaración e inicio de la variable datos2 desde 0 y con retorno de valor decimal |

#### 4.9.2. Método Setup

El método Setup permite establecer configuraciones iniciales para arrancar la comunicación, permite asignar pines de entrada/salida, previamente declarados como variables. La Tabla 4.21. muestra la línea principal del programa, con su respectiva explicación.

**Tabla 4.21.** Codificación del método setup (void setup ()) del código del programa Arduino

| <b>Línea de programación (ordenada)</b> | <b>Explicación</b>   |
|---|--|
| Serial.begin(9600);                     | Inicializa la comunicación serial a 9600 baudios, todos los elementos configurados a esta velocidad inician comunicación con este comando. |

### 4.9.3. Método Loop

El método loop (void.loop()) permite la ejecución del programa principal un número infinito de veces hasta parar (stop) el mismo, aquí se desarrolla la comunicación, envío e impresión de todos los datos de acuerdo a la parametrización de los módulos XBee.

Al unir las líneas y variables de programación realizadas en el análisis de variables y métodos del código Arduino se puede obtener el programa (Figura 4.12.) que al momento de utilizar la función “Print” referenciando al objeto “datos1” y “datos2” imprimirá en la COM los datos medidos por los sensores piezoeléctricos de vibración; de esta manera se puede proseguir a la configuración de programación gráfica a fin de conseguir una visualización de los datos en mención. Es importante recalcar ciertas características que posee el programa, que son:

**Variables.-** Para todo código Arduino, es necesario realizar la declaración de variables, de esta manera se logra guardar información dentro de ellas, existen muchos tipos de variables, pero en el programa usado (Figura 4.12.) se hace uso únicamente de las de tipo int (ocupan 2 bytes, enteras), tipo float (ocupan 32 bits o 4 bytes y permite el retorno en valores decimales) y la de tipo byte (que puede almacenar un número entre 0 y 255).

**Receptor:** Los datos provenientes de los sensores de vibración son recibidos en el programa, con la finalidad de manipularlos para la creación de un display que visualice estos datos en tiempo real.

**Separa los datos:** La recepción de datos llega en forma de paquete sin clasificación entonces, el programa recibe la orden de separar o clasificar las tramas de los 2 Módulos XBee para poder diferenciarlos uno de otro.

**Emisor:** Los datos obtenidos son interpretados en el Monitor serie del programa Arduino y enlazados a la interfaz gráfica para su interpretación.

```

int piezoelectrico = 11;
int piezoelectrico2 = 13;
int analogValue = 0;

float datos1=0;
float datos2=0;

void setup() {
  pinMode(piezoelectrico,OUTPUT);
  pinMode(piezoelectrico2,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  if (Serial.available() >= 21) {

    if (Serial.available() >= 21) {

      if (Serial.read() == 0x7E) {
        for (int i = 1; i<9; i++) {
          byte discard = Serial.read();
        }
        int analogMSB = Serial.read();

        if(analogMSB==0x69){
          for (int i = 10; i<19; i++) {
            byte discard = Serial.read();
          }
          int analogMSB = Serial.read();
          int analogLSB = Serial.read();
          int analogReading=analogLSB+(analogMSB*256);
          datos1=(analogReading*1.2/1024);
        }

        else if(analogMSB==0x5C){
          for (int i = 10; i<19; i++){
            byte discard = Serial.read();
          }
          int analogMSB = Serial.read();
          int analogLSB = Serial.read();
          int analogReading=analogLSB+(analogMSB*256);
          datos2=(analogReading*1.2/1024);
        }
      }
      Serial.print(datos1);
      Serial.print(",");
      Serial.println(datos2);
    }
  }
}

```

**Figura 4.12.** Código del Programa Arduino

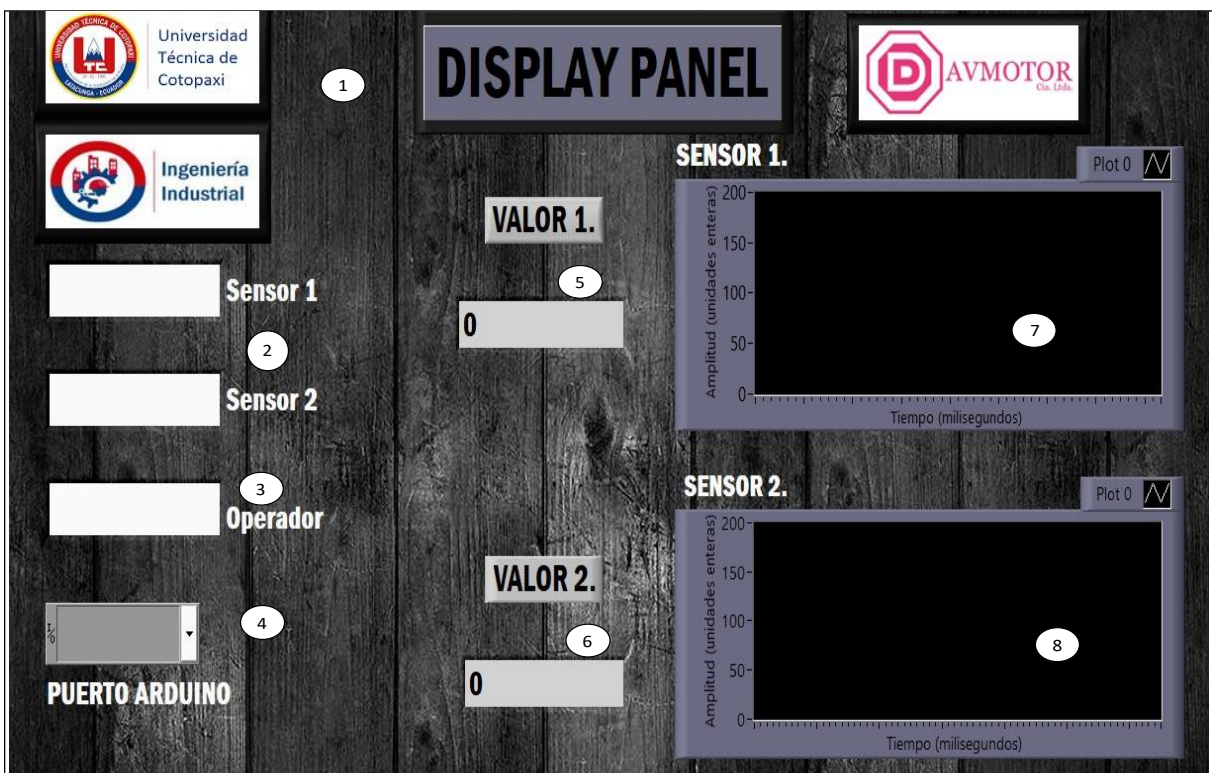
#### **4.10. Algoritmo para el funcionamiento para la Interfaz Gráfica.**

El programa posee las características necesarias para satisfacer uno de los objetivos de este proyecto, la ayuda de este programa permitirá realizar la visualización de los datos en tiempo real, a continuación, se detalla cómo funciona su interfaz gráfica, su lenguaje de programación gráfico utilizado para la elaboración del presente proyecto y como se crea una base de datos Excel.

##### **4.10.1. Panel frontal**

Cumple la función de visualizar los datos de los sensores, la creación de la pantalla está conformada por las siguientes partes, Figura 4.13.

1. **Encabezado:** Está conformado por el título de la pantalla y logos de las instituciones que apoyaron este proyecto.
2. **Sensor1- Sensor 2:** Se detalla los puntos de medición donde son colocados los sensores
3. **Operador:** Tiene la finalidad de indicar el autor(a) que utilizara el programa.
4. **Puerto Arduino:** Permite seleccionar el Puerto de ubicación en donde está conectado el CPU (receptor), para la transmisión de datos.
5. **Valor 1:** Muestra los datos de manera numérica que se generan en el sensor 1.
6. **Valor 2:** Muestra los datos de manera numérica que se generan en el sensor 2.
7. **Display 1:** Genera una correlación en función del tiempo y la amplitud, permitiendo de esta manera representar los datos del sensor 1 de una manera gráfica.
8. **Display 2:** Genera una correlación en función del tiempo y la amplitud, permitiendo de esta manera representar los datos del sensor 2 de una manera gráfica.



**Figura 4.13.** Pantalla de visualización.

### 4.10.2. Diagrama de programación gráfica

El siguiente código está elaborado mediante el lenguaje de programación gráfica, la función del código permite interpretar y dar trazabilidad a los datos numéricos o gráficos que generan los sensores, a continuación, se detalla el funcionamiento y como está compuesto la programación.

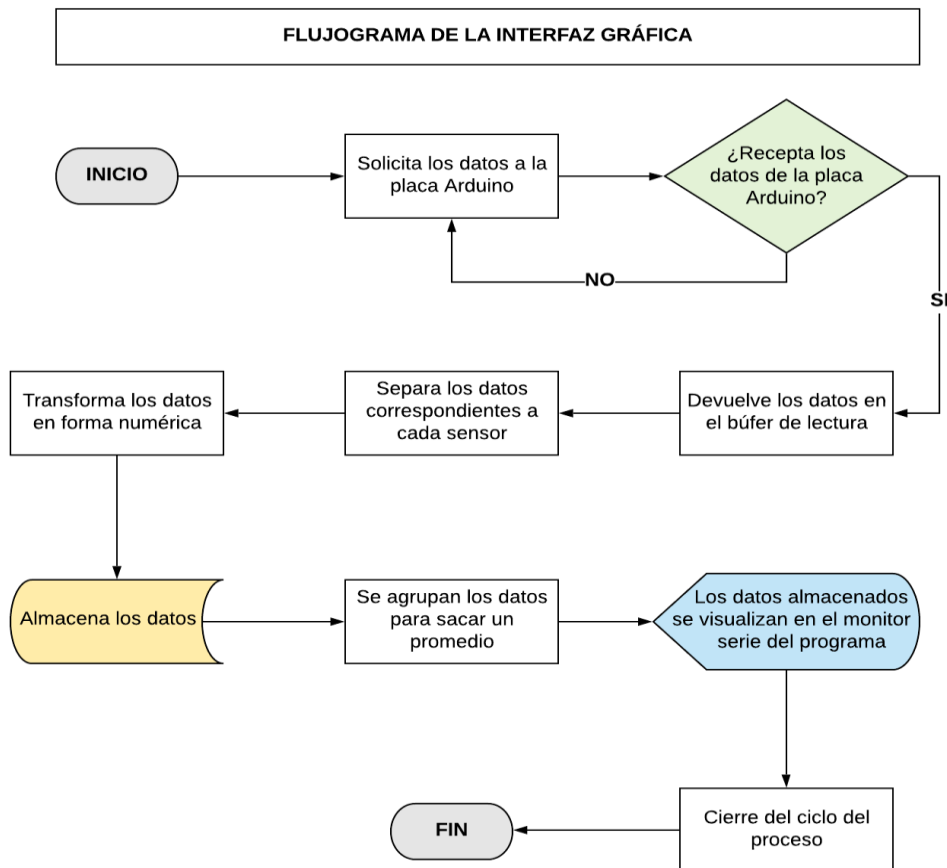


Figura 4.14. Flujograma de funcionamiento de la interfaz gráfica

### 4.10.3. Excel informe

Una de las características importantes del software, es que permite generar un archivo de lectura en Excel, es decir, generar un informe escrito de las mediciones realizadas por el programa, a continuación, se detalla el proceso para llevar los datos de los sensores a una extensión de archivo XLS.

#### 4.11. Control Estadístico.

El presente modelo estadístico está enfocado a determinar un valor estándar que permita determinar un límite de control superior para generar una medida de referencia, utilizando el método estadístico C. Los datos extraídos para determinar los límites de control superior, se obtuvieron a partir de la medición de una unidad interprovincial en mal estado, para asegurar un valor más preciso se utilizó la repetitividad, es decir durante un periodo de 5 días se monitoreo a la unidad con el fin de obtener un valor promedio de cada punto de medición ya establecido y así poder determinar un límite de control superior (LCS).

La figura a continuación representa la recolección de datos obtenidos gracias al sistema de medición propuesto, la recolección de los datos se realizó a un bus interprovincial en mal estado, enfocados en el análisis de las partes que más problemas presenta a la organización y las más frecuentes.

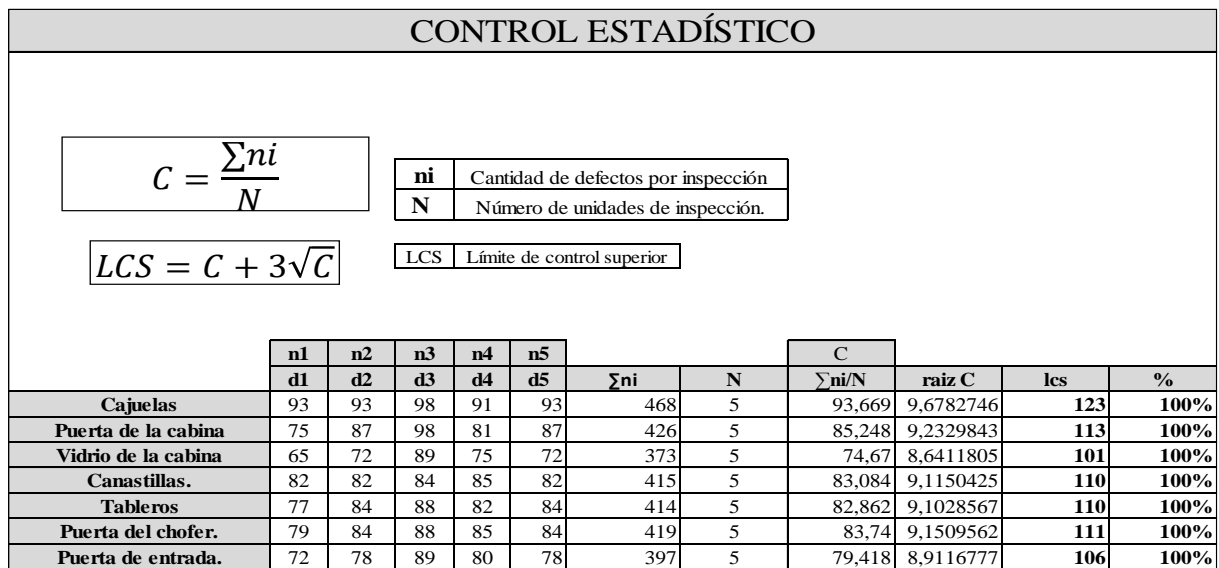


Figura 4.15. Cálculo del límite de control superior

#### 4.12. La encuesta.

Mediante esta técnica se pretende dar a conocer cuál es el grado de éxito de la presente propuesta tecnológica, su importancia radica en realizar un cuestionario cuantitativo enfocado a la recolección de datos para ser tabulados y así obtener un análisis por parte de la organización con lo que respecta a la presente propuesta. Además, se realiza otra encuesta para determinar cuáles son los puntos de medición a los cuales hay que enfocarse, guiándose hacia las partes que más traigan problemas por ajuste y sellado.

Las encuestas se detallan en el ANEXO II

## 4.12. Materiales Utilizados







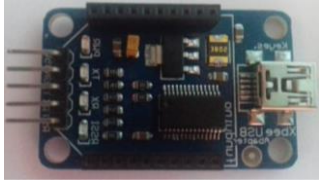







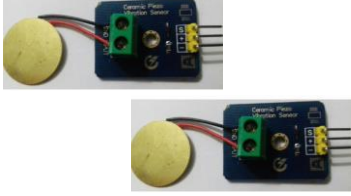
| LISTA DE MATERIALES. |   |   |     |                   |   |
|----------------------|---|---|-----|-------------------|---|
| N°                   | COMPONENTE.                                       | FOTOGRAFÍA.   | N°  | COMPONENTE.       | FOTOGRAFÍA.   |
| 1.                   | Cables (Hembra-macho, Macho-macho, Hembra-Hembra) |    | 9.  | Cautín.           |    |
| 2.                   | unidad USB 16GB                                   |    | 10. | Estaño.           |    |
| 3.                   | Cables USB ( Xbee, Arduino)                       |    | 11. | Desarmadores.     |    |
| 4.                   | XBee Explorer USB.                                |   | 12. | Computadora.      |   |
| 5.                   | Módulos XBee S2                                   |  | 13. | Baterías          |  |
| 6.                   | Placa Arduino UNO.                                |  | 14. | Programa XCTU.    |  |
| 7.                   | Módulo XBee Shield.                               |  | 15. | Programa Arduino. |  |
| 8.                   | Sensor de Vibración analógico piezoeléctrico.     |  |     |                   |   |

Figura 4.16. Lista de materiales utilizados en el proyecto

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Parte de los resultados planteados ya se encuentra en secciones anteriores del presente trabajo, es por eso que se ha considerado mencionar la ubicación de los resultados, a continuación, se muestra los resultados alcanzados para cada objetivo planteado,

### 5.1. Objetivo 1

La tabla a continuación muestra la ubicación de los resultados alcanzados para el objetivo uno.

**Tabla 5.1.** Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo uno

| <b>Resultado</b>   | <b>Medio de Verificación</b>  | <b>Ubicación en el presente documento</b>   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de breves síntesis de estudios relacionados al tema propuesto.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Documentación de estudios realizados similares al tema propuesto.</li> <li>- Documentación de definiciones básicas de diferentes sistemas usados en el estudio propuesto.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La realización de este resultado está consolidado en la sección tres del presente trabajo.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de metodologías para la elección de los materiales a usarse en la medición, comunicación y visualización de las vibraciones respectivamente.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Información documentada del funcionamiento del método de decisión utilizado.</li> <li>- Tablas de comparación y de decisiones para elección de dispositivos electrónicos a usarse dentro de la propuesta tecnológica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para constatar este medio de verificación referirse al punto <b>4.6</b> de la sección cuarta.</li> <li>- Las tablas de comparación y de decisión se encuentran en la sección cuarta: Desde la <b>Tabla 4.2.</b> Hasta la <b>Tabla 4.15.</b></li> </ul> |

## 5.2. Objetivo 2

La tabla a continuación muestra la ubicación de los resultados alcanzados para el objetivo dos.

**Tabla 5.2.** Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo dos

| Resultado   | Medio de Verificación  | Ubicación en el presente documento  |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Búsqueda y cotización de dispositivos tecnológicos para conexión inalámbrica multipunto.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilustración de conexión de dispositivos electrónicos usados en la propuesta tecnológica.</li> <li>- Presupuesto del sistema de monitoreo y registro de vibraciones en los buses interprovinciales.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referirse <b>Figura 4.3.</b> Disposición y conexión general de los componentes de la propuesta tecnológica, en la sección cuarta.</li> <li>- Referirse a la sección <b>6. Presupuesto y análisis de impactos.</b></li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de softwares adecuados y compatibles con la tecnología ocupada, al igual que correcto empleo de herramientas de programación.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de flujo del programa Arduino.</li> <li>- Parametrización de módulos de comunicación.</li> <li>- Topología de la red multipunto.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para constatar esta información referirse a la sección 4, específicamente en el apartado <b>4.9.</b></li> <li>- La configuración se detalla en la sección 4 apartado 4.8. configuración del XBee en el programa XCTU.</li> <li>-La topología de la red está detallada en la Figura 4.10. Topología de la Red.</li> </ul> |

### 5.3. Objetivo 3

La tabla a continuación muestra la ubicación de los resultados alcanzados para el objetivo tres.

**Tabla 5.3.** Descripción de los resultados alcanzados para el objetivo tres

| <b>Resultado</b>   | <b>Medio de Verificación</b>  | <b>Ubicación en el presente documento</b>  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Empleo de programación gráfica para visualización y registro de datos, utilizando un software.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Diagrama de flujo de la interfaz gráfica.</li><li>- Programación para el registro de datos obtenido durante el tiempo de medición de vibraciones.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Este medio de verificación se encuentra detallado en la <b>Figura 4.14.</b> Flujograma de funcionamiento de la interfaz gráfica.</li><li>- La programación para crear una extensión XLS se detalla en el apartado <b>4.10.3. Excel informe</b> de la sección cuarta y <b>Anexo III</b></li></ul> |

#### 5.3.1. Funcionamiento del sistema de visualización y registro de vibraciones

##### 5.3.1.1. Prueba piloto

Esta parte se la realizó durante la prueba de ruta en conjunto con el supervisor de calidad y trabajadores de la organización. La unidad donde se realizó la prueba es un bus Interprovincial marca Hino.

**Bus seleccionado:** Interprovincial Hino

**Orden de Producción:** 25-19

**Supervisor:** Deibie Paredes

**Fecha de realización:** 21/01/2020.

A continuación, se muestra y se detalla el correcto funcionamiento del software Arduino y la visualización en tiempo real de la interfaz gráfica, anexando el informe generado a partir de las mediciones durante esta prueba.

##### 5.3.1.2. Programa Arduino

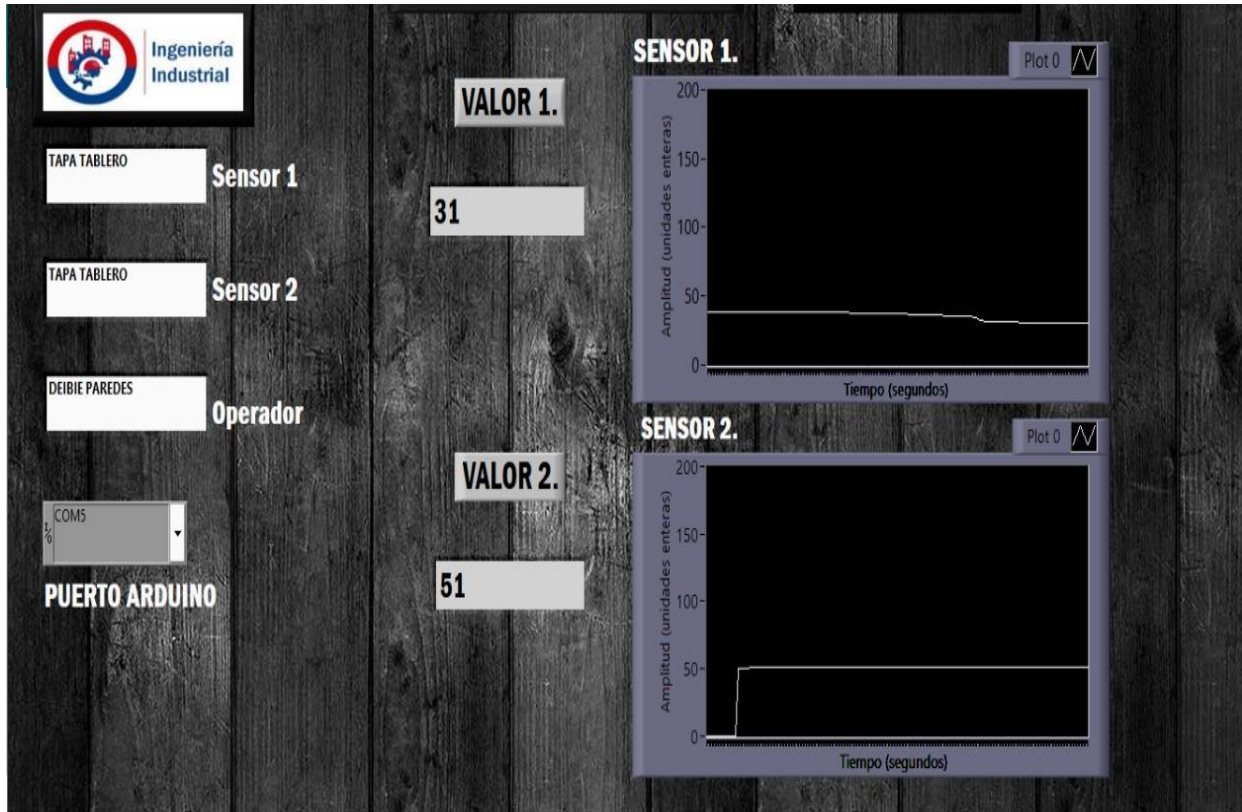
Resultados: La programación en Arduino permite leer los datos de los sensores, el resultado obtenido para compilar y ejecutar el algoritmo Arduino como primera parte para la transferencia de datos fue muy satisfactorio, a continuación en la Figura 5.1. se muestra como el programa es ejecutado y visualizado a través del monitor serie.

```
18:16:14.724 -> 29.00,7.00
18:16:14.724 -> 29.00,7.00
18:16:14.797 -> 29.00,7.00
18:16:14.797 -> 30.00,7.00
18:16:14.905 -> 30.00,7.00
18:16:14.941 -> 29.00,7.00
18:16:14.977 -> 29.00,7.00
18:16:15.013 -> 29.00,7.00
18:16:15.013 -> 29.00,7.00
18:16:15.013 -> 29.00,7.00
18:16:15.046 -> 29.00,7.00
18:16:15.046 -> 29.00,7.00
18:16:15.082 -> 29.00,7.00
18:16:15.082 -> 29.00,7.00
```

**Figura 5.1.** Lectura de los datos en el monitor serie de Arduino

### 5.3.1.3. Interfaz Gráfica

Resultado: En la interfaz gráfica la lectura de los datos y su visualización en tiempo real, fue satisfactoria, durante la prueba se evidencio un ligero retardo, muy pequeño, esto depende de la ubicación del sensor, por otra parte, en la prueba de ruta la interfaz gráfico y mostro el comportamiento del punto de medición en su visualizador. En la figura a continuación se evidencia el funcionamiento de la interfaz gráfica en uno de los puntos de medición establecidos, donde se grafica el comportamiento de los tableros durante la prueba de ruta.



**Figura 5.2.** Funcionamiento de la interfaz gráfica en tableros del bus interprovincial

#### 5.3.1.4. Informe

**Resultado:** La creación de una extensión XSL, que permite la interfaz gráfica ayuda a compilar la información, para asignarla en una nueva plantilla automatizada, que genera un informe y gráficos de control, para esto se sigue instrucciones de un Dashboard detallado en el Anexo III de la presente investigación. Para la generación de dicho informe es necesario utilizar el medidor de vibraciones en “modo registro de datos”, para ello es necesario revisar el manual de uso Anexo I o a su vez seguir las recomendaciones del Anexo IV en la sección registro de datos.

En la imagen a continuación se da a conocer el resultado final de la prueba de ruta, durante esta etapa se observó que gran parte de los puntos analizados se encuentran en una tolerancia aceptable a excepción de un valor elevado en el punto de medición “Puerta de la cabina”, esta valoración cuantitativa permite generar un llamado de atención enfocado al ajuste de este punto de medición y así prevenir que la unidad salga en mal estado, el resultado obtenido de la prueba de ruta se evidencia a continuación. Es importante detallar en el Anexo III existe una Tabla de recomendación Figura III.5. para actuar ante una desaprobación de alguna parte de la carrocería del bus interprovincial dependiendo de su porcentaje en base al límite de control superior.



**MEASUREMENT REPORT.**

**RESPONSABLE:** Deibie Paredes      **FECHA:** 21/1/2020      **OP:** 2519

| CAJUELAS. |        |       |          |
|-----------|--------|-------|----------|
| SENSOR    | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1         | 39%    | 30%   | ✓        |
| 2         | 29%    | 6%    | ✓        |

| CANASTILLAS |        |       |          |
|-------------|--------|-------|----------|
| SENSOR      | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1           | 44%    | 31%   | ✓        |
| 2           | 10%    | 5%    | ✓        |

| PUERTA DE LA CABINA |        |       |          |
|---------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR              | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1                   | 78%    | 33%   | ●        |

| VIDRIO DE LA CABINA. |        |       |          |
|----------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR               | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 2                    | 29%    | 7%    | ✓        |

| TABLEROS |        |       |          |
|----------|--------|-------|----------|
| SENSOR   | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1        | 57%    | 32%   | ✓        |
| 2        | 21%    | 6%    | ✓        |

| PUERTA DEL CHOFER |        |       |          |
|-------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR            | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1                 | 46%    | 32%   | ✓        |

| PUERTA DE ENTRADA - SALIDA. |        |       |          |
|-----------------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR                      | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 2                           | 23%    | 6%    | ✓        |

**OBSERVACIONES**

La carrocería analizada se encuentra dentro de los límites de control establecidos, es decir, muestra medidas positivas que se ha comprobado mediante un sistema de medición, en esta situación la carrocería aprueba el control interno de la empresa, recomendando un reajuste o revisión en la puerta delantera de acceso a la unidad antes de ser entregada al cliente.

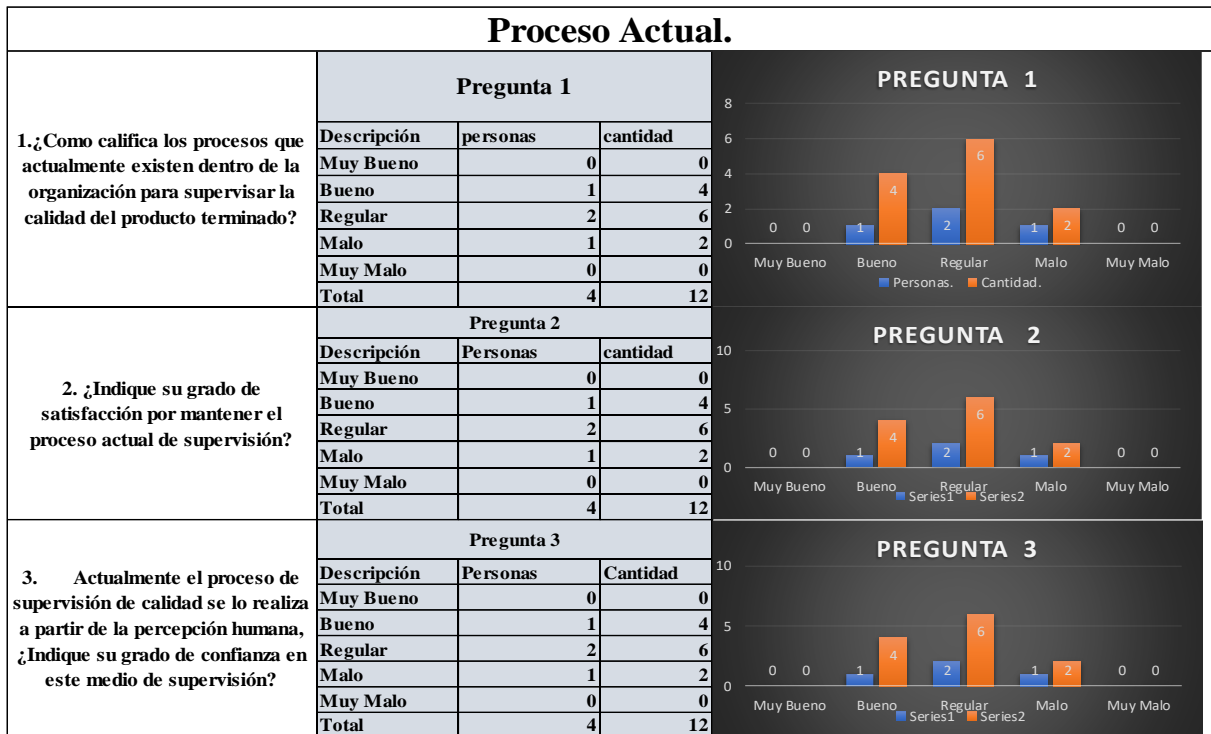
**Figura 5.3.** Informe creado a partir de los resultados obtenidos en la prueba de ruta.

**5.4. Objetivo 4**

**5.4.1. Encuesta a personas involucradas en el proceso de control de calidad.**

Resultado: Mediante los resultados obtenidos en la encuesta realizada a las 4 personas inmersas dentro del proceso de supervisión de calidad de la empresa DavMotor Cía. Ltda. se comprueba el impacto y la crítica por parte de la organización hacia la propuesta planteada, permitiendo visualizar un valor cuantitativo y cualitativo y de esta manera generar una evidencia fundamentada sobre la propuesta realizada, la encuesta se encuentra en el Anexo II, a continuación, se detalla los resultados de la encuesta.

La figura a continuación detalla la tabulación realizada a las preguntas uno, dos y tres, esto debido a que las preguntas mencionadas se enfocan al proceso actual que lleva la empresa.



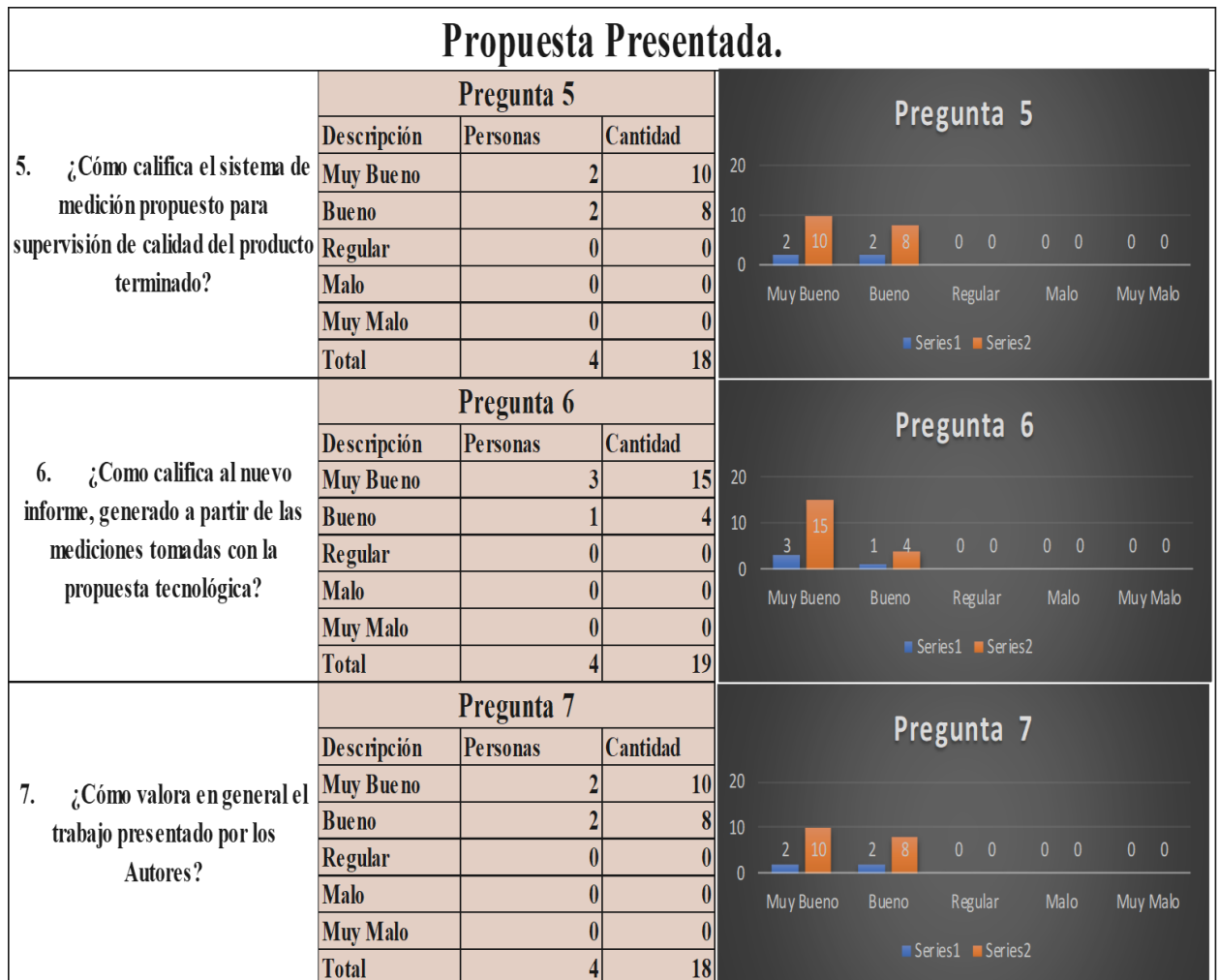
**Figura 5.4.** Tabulación de preguntas referentes al proceso actual

La pregunta 4 está enfocada a determinar la importancia que tiene para la organización implementar la automatización a sus procesos, su tabulación se detalla a continuación.



**Figura 5.5.** Tabulación pregunta 4

La figura a continuación detalla la tabulación realizada a las preguntas 5, 6 y 7, esto debido a que las preguntas mencionadas se enfocan a la propuesta presentada.



**Figura 5.6.** Tabulación de preguntas referentes al proceso con la propuesta implementada

Una vez tabulada las preguntas, se detalla una comparativa entre el proceso actual y la propuesta planteada, con el fin de cuantificar un valor de aceptación, de esta manera se evidencia el impacto que tiene la propuesta planteada para los representantes del departamento de calidad de la empresa DavMotor Cia. Ltda.

|                      | Puntaje | Porcentaje |
|----------------------|---------|------------|
| Proceso actual       | 36      | 40%        |
| Propuesta presentada | 55      | 60%        |
| Total                | 91      | 100%       |

**Análisis:** La evidencia demuestra que la propuesta planteada a la organización genera un 60% de aceptación, en comparación con un 40% del proceso actual.



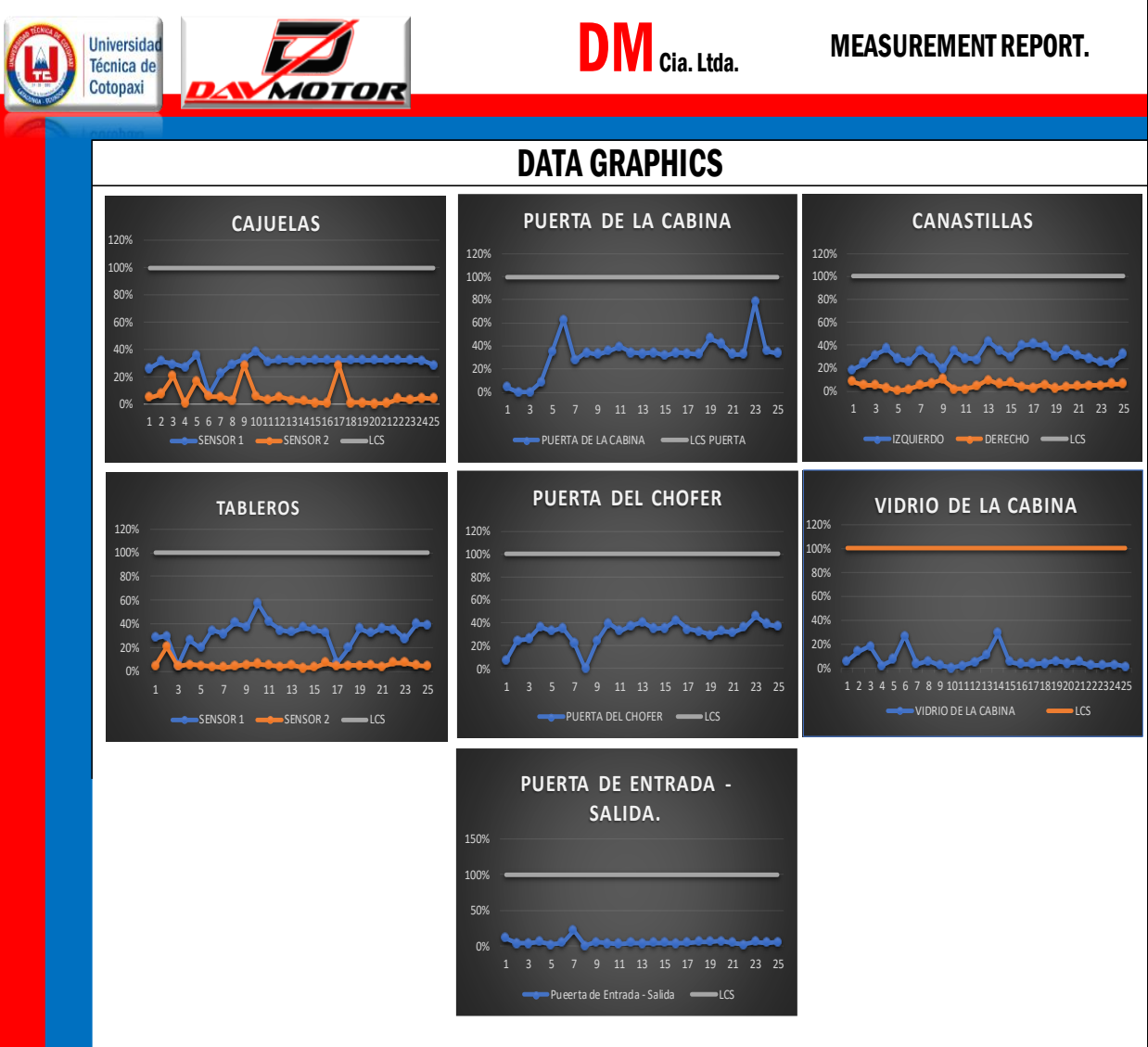
**Figura 5.7.** Resultado de la encuesta

#### 5.4.2. Generación de gráficos de control a partir de los datos registrados

Resultado: El presente gráfico muestra el comportamiento de ciertas partes de la carrocería durante la prueba de ruta (utilizando gráficos de control C), esto permite generar una trazabilidad al proceso; por lo que después de analizar los datos en la gráfica, se observó un pico muy cerca del límite de control superior, generando una observación al punto de medición Puerta de la Cabina.

De acuerdo a la Tabla de recomendaciones Figura III.5. es necesario revisar o reajustar el sistema neumático del booster de la puerta, de esta manera se puede dar una solución rápida a las altas vibraciones de la puerta en mención, es necesario realizar una nueva prueba luego de aplicar la medida correctiva, a fin de generar un informe interno de aprobación de la unidad interprovincial.

En la figura a continuación, se muestra la interfaz gráfica generada.



**Figura 5.8.** Gráficos de dispersión de la prueba.

**5.4.3. Comentario por parte de los representantes de la organización.**

En la encuesta realizada se generó la opción de dar un comentario de la persona encuestada con respecto a la propuesta presentada. A continuación, se cita la crítica de los representantes de la organización

**Deibie Paredes.**  
**Supervisor de Calidad**

*“Considero que el proyecto presentado es muy útil, ya que nos permite tener una trazabilidad más exacta en el control de calidad”.*

**Jaime Cifuentes.**  
**Supervisor de Producción**

*“Es un estudio tecnológico nuevo, se recomendaría continuar con la ampliación y estudio de futuros ensayos.”*

**Gabriela Guatasaca.**  
**Coordinadora del S.G.I**

*“Es un proyecto coherente que contribuye con el mejoramiento continuo de la empresa.”*

**Diego Zamora.**  
**Maestro jefe de acabados fase 1.**

*“El sistema presente identifica fallas en el sellado, de una manera más confiables.”*

## **6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS**

### **6.1. Presupuesto**

Para analizar el presupuesto de la propuesta tecnológica se toman en cuenta rubros para cada ítem del presupuesto total, se ha analizado el presupuesto tomando en cuenta costos indirectos Tabla 6.1. y Tabla 6.2. Y costos directos Tabla 6.3., para de esta manera determinar el presupuesto total del proyecto investigativo mostrado en la Tabla 6.4.

En las siguientes tablas se detallan los costos directos e indirectos y un resumen de costos para la propuesta tecnológica con un tiempo de duración de 15 semanas.

### 6.1.1. Costos Indirectos

Aquellos que no incurren de manera directa en la propuesta tecnológica, el costo de mano de obra se ha estimado tomando en cuenta el tiempo de duración y un precio por hora por cada integrante.

En las siguientes tablas se detallan los rubros para cada ítem analizado.

**Tabla 6.1.** Obtención del costo total de mano de obra

| <u>DURACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO ACTUALMENTE</u> |                  |                                 | NUMERO DE PERSONAS (N) | COSTO HORA DE INGENIERÍA | COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA |
|---|------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| SEMANAS   | DÍAS A LA SEMANA | HORAS DE INGENIERÍA POR PERSONA |                        |                          |                             |
| 3   | 5                | 2                               | 2                      | \$ 10,00                 | \$ 600,00                   |

Para extraer el costo total de mano de obra se utilizó la ecuación 6.1. Mostrada a continuación.

$$COSTO\ TOTAL_{Mano\ de\ obra} = Costo\ hora\ de\ ingeniería * N * Duración\ del\ proyecto \quad .(6.1.)$$

Donde:

*Costo hora de ingeniería:* Costo por cada hora trabajada; (\$/hora \*persona)

*N:* Número total de personas participantes del proyecto; (personas)

*Duración del proyecto:* Tiempo total de duración del proyecto; (horas)

Como se observa en la Tabla 6.1. se obtiene el costo total de mano de obra tomando en cuenta el producto de la duración de proyecto en horas de ingeniería por el costo de hora de ingeniería y finalmente por el número de personas involucradas en el proyecto (ecuación 6.1.), es importante recalcar que en la actualidad el equipo de trabajo está en condiciones de implementar este sistema en un tiempo de tres semanas trabajando cinco días durante dos horas. Se obtuvo un costo total de mano de obra de 600 dólares. La tabla 6.2. muestra rubros de transporte (costos de logística), obteniéndose un total de 76 dólares con 80 centavos.

**Tabla 6.2.** Obtención del costo total de logística (alimentación y transporte)

| <b>RUBRO</b>  | <b>Cantidad (pasajes)</b> | <b>Observación</b>  | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b> |
|---|---------------------------|---|-----------------------|--------------------|
| Pasaje de transporte hacia la empresa                                       | 48                        | 1 vez al día por cada integrante (durante 4 días semanales) | \$ 0,75               | \$ 36,00           |
| Pasaje de transporte hacia lugar de adquisición de componentes electrónicos | 12                        | 3 veces en todo el proyecto por cada integrante             | \$ 2,15               | \$ 25,80           |
| Imprevistos   | 1                         |   | \$ 15,00              | \$ 15,00           |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL DE COSTOS DE LOGÍSTICA</b>                             |                           |   |                       | <b>\$ 76,80</b>    |

### 6.1.2. Costos Directos

En esta sección se detalla todo el recurso técnico y material para llevar a cabo la propuesta tecnológica. En la Tabla 6.3 se obtiene el costo total de recursos técnicos que son rubros relacionados a la construcción del prototipo (medidor de vibraciones).

**Tabla 6.3.** Obtención del costo total de recursos técnicos

| <b>RUBRO</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b> |
|--|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Cables de Conexión                                   | 3               | \$ 1,00               | \$ 3,00            |
| USB Kingston DT 50                                   | 1               | \$ 6,00               | \$ 6,00            |
| Cable USB Xbee Explorer                              | 3               | \$ 2,00               | \$ 6,00            |
| Cable Arduino – PC                                   | 1               | \$ 2,00               | \$ 2,00            |
| Xbee Explorer USB                                    | 3               | \$ 6,00               | \$ 18,00           |
| Módulos Xbee S2                                      | 3               | \$ 30,00              | \$ 90,00           |
| Placa Arduino UNO                                    | 1               | \$ 25,00              | \$ 25,00           |
| Sensor de vibración piezoeléctrico con módulo KY0138 | 2               | \$ 5,00               | \$ 10,00           |
| Cautín   | 1               | \$ 7,50               | \$ 7,50            |
| Estaño   | 1               | \$ 2,00               | \$ 2,00            |
| Desarmadores   | 2               | \$ 1,50               | \$ 3,00            |
| Banco de batería                                     | 2               | \$ 6,00               | \$ 12,00           |
| Carcasas   | 3               | \$ 6,00               | \$ 18,00           |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL DE RECURSOS TÉCNICOS</b>        |                 |                       | <b>\$ 202,50</b>   |

### 6.1.3. Resumen de Costos (Presupuesto Total)

Una vez obtenidos los costos totales de cada ítem evaluado, tanto para el costo directo e indirecto, se procede a realizar una tabla de resumen de costos, a fin de obtener un costo total o un presupuesto total para la propuesta tecnológica.

En la Tabla 6.4. se detalla el ítem, una breve descripción, un valor subtotal (Costos directos e indirectos) y el valor total de la propuesta tecnológica como un valor referencial de implementación; esto permite tener una orientación de la inversión económica total del medidor de vibraciones para monitoreo de sellado en el bus interprovincial de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

Es de recalcar que el presupuesto para recurso técnico es de 202,50 \$, es un dato relevante tomando en cuenta que es el precio del hardware del prototipo propuesto (medidor de vibraciones).

**Tabla 6.4.** Resumen de costos

|   | <b>ÍTEM</b>                                   | <b>Descripción</b>  | <b>Subtotal</b> | <b>Valor Total</b> |
|---|---|---|-----------------|--------------------|
| <b>COSTOS INDIRECTOS</b>                            | <b>PRESUPUESTO TOTAL COSTO DE LOGÍSTICA</b>   | Se detallan los rubros que forman parte del proyecto de manera mediata (pasajes, alimentación, entre otros)                 | \$ 76,80        |                    |
|   | <b>COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA</b>            | Se detalla el costo a partir de la fijación del costo por hora de ingeniería, durante el periodo de desarrollo del proyecto | \$ 600,00       | \$ 676,80          |
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>                              | <b>PRESUPUESTO TOTAL DE RECURSOS TÉCNICOS</b> | Se detallan todos los rubros de componentes electrónicos y otros materiales usados para construir el medidor de vibraciones | \$ 202,50       | \$ 202,50          |
| <b>PRESUPUESTO TOTAL (COSTO TOTAL DEL PROYECTO)</b> |   |   |                 | <b>\$ 879,30</b>   |

De esta manera se obtiene un costo total del proyecto de investigación igual a 897 dólares con 30 centavos.

Es importante recalcar que el precio obtenido contempla mano de obra, en caso de tener el personal adecuado para la implementación luego de este estudio el costo total reduciría considerablemente a un aproximado total de 202 dólares con 50 centavos.

## **6.2. Análisis de Impactos**

### **6.2.1. Impacto Práctico**

El medidor de vibraciones propuesto, es útil para monitorear y presentar una alternativa al control de sellado y ajuste del bus interprovincial en el proceso de calidad de producto terminado de la empresa DavMotor Cía. Ltda., el prototipo permite cuantificar con un instrumento de medición valores que sería imposible detectarlos con precisión usando los órganos sensoriales.

### **6.2.2. Impacto Simbólico**

El prototipo propuesto abre paso a la implementación de sistemas inteligentes para el control, ejecución, y automatización de las distintas actividades realizadas a lo largo del proceso de producción, fabricación y montaje de carrocerías en la empresa DavMotor Cía. Ltda., permite mostrar a la organización una alternativa para mejorar la productividad de su proceso, para irse introduciendo en la nueva era industrial mejorando su competitividad.

El prototipo propuesto (medidor de vibraciones) simboliza el compromiso humanista de los autores de la investigación con la universidad al igual que con la organización en mención.

### **6.2.3. Impacto Tecnológico**

El desarrollo tecnológico dentro de las industrias ha ido evolucionado durante años, los conocimientos y experimentos de carácter tecnológico han permitido dirigir esfuerzos de muchas plantas industriales hacia la automatización y aumento de indicadores fundamentales como calidad, productividad, eficiencia, eficacia, económicos y de seguridad. El apareamiento del internet y junto a él la fuerza y tendencia de tener posibilidad de crear comunicaciones inalámbricas que permitan realizar controles remotos de diferentes procesos al igual que la tecnología de radiofrecuencia que permite muchos tipos de conexión y comunicación inalámbrica, todo esto resulta fundamental para el desarrollo de proyectos en donde la conexión con cables resulta muy robusta. El análisis de pruebas de calidad en las unidades terminadas

(bus interprovincial) de la empresa DavMotor Cía. Ltda., centrado en la prueba de sellado y ajuste al realizarse de manera empírica usando los órganos sensoriales por parte de los supervisores queda obsoleto al momento de la implementación del sistema de monitoreo de este proceso, posibilitando la cuantificación al momento de detectar fallas que pueden ser corregidas a tiempo sin incurrir en un gasto extra para la organización y el cliente.

La presente propuesta tecnológica tiene la intención de reducir notablemente las no conformidades evidenciadas por el cliente, que vienen acompañadas de gastos extras por reparación que cubre garantías de fábrica.

La presente propuesta tecnológica abre caminos hacia un perfeccionamiento de la misma o hacia la construcción de bancos de pruebas para distintas áreas de la organización en cuestión; revaloriza la importancia de poseer sistemas inteligentes para el mejoramiento continuo de procesos al igual que de plantas industriales.

#### **6.2.4. Impacto Ambiental**

El prototipo propuesto en la presente investigación tiene una tendencia neutra con respecto al ambiente, siendo un sistema que funciona con electricidad como base, pero que utiliza sistemas de bajo consumo eléctrico.

#### **6.2.5. Impacto Epistemológico**

Desde el punto de vista epistemológico, el prototipo propuesto cuestiona ciertos conocimientos, pero también abre camino hacia otros. La interconexión de elementos utilizando cableado físico es una tendencia que se trata de eliminar día a día, todos los conocimientos relacionados a este tipo de conexiones están resultando obsoletos con el pasar del tiempo debido a la existencia de elementos que permiten realizar comunicación, transmisión de datos y de una manera general realizan todo lo que los cables pueden hacer, la tecnología ZigBee utilizada en la presente investigación permite establecer comunicación y transmisión/recepción de datos obtenidos desde un sensor analógico de manera inalámbrica, promoviendo así el uso de este tipo de tecnologías y abriendo un campo extenso hacia el perfeccionamiento y desarrollo de aplicaciones y proyectos de mejoramiento continuo de ciudades, empresas, industrias, al igual que proyectos de seguridad en hogares y de domótica entre otros más.

## 7. CONCLUSIONES

- El proceso de monitoreo y registro de datos de vibración para el control de ajuste y sellado de puertas, ventanas, tableros, bodegas, y maleteros permite la generación de datos cuantitativos basados en un límite de control obtenido con un modelo estadístico fundamentado en pruebas repetitivas realizadas a una carrocería defectuosa en cada punto estratégico (parte sometida a medición), el registro de vibraciones a su vez posibilita la obtención de un informe de aprobación para la unidad interprovincial de la empresa DavMotor Cía. Ltda.
- En conformidad con el análisis realizado en donde se tomó en cuenta distintas fuentes bibliográficas relacionadas con sistemas de medición de vibraciones con comunicación inalámbrica, se dedujo que el protocolo ZigBee basado en el estándar IEEE 802.15.4 al igual que los dispositivos electrónicos principales como XBee S2, Arduino UNO y sensor piezoeléctrico con módulo de acondicionamiento de señal son óptimos para el correcto funcionamiento del medidor de vibraciones en puntos estratégicos como parte del control de sellado y ajuste del bus interprovincial que comercializa la empresa DavMotor Cía. Ltda.
- Mediante el uso de aplicaciones de programación de código y gráfica, al igual que usando una conexión adecuada se realizó con éxito la comunicación inalámbrica que permitió visualizar y registrar datos de vibración emitidos por los sensores piezoeléctricos para la generación de un posterior análisis de control en el sellado y ajuste como prueba de control de calidad en el bus interprovincial de la empresa DavMotor Cía. Ltda.
- Por medio de la investigación se deduce que brindar una solución de visualización y monitoreo en tiempo real es un factor determinante para dar trazabilidad a un proceso de control de calidad, la interfaz de visualización desarrollada es una herramienta que permite a los encargados de la supervisión de calidad monitorear el comportamiento del punto de medición. Un factor determinante de la interfaz es que permite la creación de un archivo XLS donde se detalla todas las mediciones registradas en la prueba, ya que sin un registro de datos es difícil generar gráficos de control y tomar decisiones, estas componentes que posee la interfaz propuesta son relevantes para generar seguridad en el control interno de calidad de la organización.
- Se realizó una encuesta, permitiendo generar una opinión cualitativa y cuantitativa sobre la propuesta presentada, se observaron las opiniones de los representantes del departamento de calidad, gracias a esto es posible inferir que la propuesta presentada posee una aceptación positiva con respecto al proceso actual, además que consideran la importancia de automatizar sus procesos para el mejoramiento de su calidad.

## **8. RECOMENDACIONES.**

- Es importante resaltar que la red multipunto creada puede ser ampliada, es decir, el sistema propuesto puede generar una mayor eficiencia al conectar más sensores ya sea de vibración o de otras variables, permitiendo de esta manera optimizar tiempos y abarcar mayores puntos de medición, también se debe tomar en cuenta la sustitución de los módulos XBee S2 por módulos que permitan un mayor alcance para la transferencia de datos.
- Calibrar la propuesta generada con un medidor de vibraciones certificado y encontrar el factor de calibración que permita que los datos sean interpretados en un sistema de medición correspondiente a la vibración y de esta manera validar la información de los datos obtenidos.
- Establecer rutas, protocolos y reglas específicas para realizar las pruebas de medición, esto con el fin de garantizar que la obtención de datos se realice en una prueba de ruta estándar.
- La flexibilidad de la red permite que se pueda realizar un estudio enfocado al análisis de otras variables físicas como, por ejemplo, humedad, temperatura y ruido, por lo que se recomienda ampliar la investigación para posteriores avances en el prototipo presentado.
- Modificar o reprogramar la interfaz gráfica para predefinir datos en un menú de selección, en lugar de campos de llenado de texto manual.
- Para un trabajo a futuro se recomienda establecer límites de control y el análisis a otras unidades que se encuentran dentro de la oferta de la empresa DavMotor Cía. Ltda. como lo son, las unidades turismo, intraprovinciales, bus tipo 2p, bus tipo 3p y mini bus. Permitiendo de esta manera que la propuesta realizada ayude a generar un sistema de control cuantitativo y cualitativo enfocado a todas las unidades de autobuses que salen de la empresa.
- Es importante fortalecer el lazo existente entre la empresa DavMotor Cía. Ltda. y la Universidad Técnica de Cotopaxi, para esto es recomendable identificar estudiantes que realicen prácticas pre profesionales dentro de dicha empresa (acogiéndose al convenio existente) con el fin de sugerir el uso, desarrollo y perfeccionamiento de la propuesta tecnológica.

## 9. REFERENCIAS

- [1] J. Flores, M. Aguilera y O. Salcedo, «Industria 4.0: tendencias de la literatura académica reciente,» *Espacios*, vol. 40, n° 30, pp. 27 - 30, 2019.
- [2] R. Drath y A. Horch, «Industrie 4.0: Hit or type?,» *IEEE Industrial Electronics Magazine*, pp. 56 - 58, 2014.
- [3] E. Gualotuña, *Medición y análisis de vibraciones mecánicas en un bus de transporte de pasajeros y sus efectos en la salud y el confort mediante la norma ISO 2631*, 2016.
- [4] B. Diezma, C. Valero, A. Moya y P. Barreriro, *John Deere 6215R, sobresaliente en el análisis de vibraciones*, *Vida Rural*, 2015, pp. 18-29.
- [5] W. Olarte, M. Botero y B. Cañon, «ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA CLAVE EN EL MANTENIMIENTO,» *Scientia et Technica*, n° 45, pp. 219-222, 2010.
- [6] G. White, «Introducción al Análisis de Vibraciones,» 30 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>.
- [7] N. Reyes y C. Galleguillos, *Estudio y análisis dinámico de señales provenientes de engranajes*, Universidad del BÍO-BÍO, 2014.
- [8] A. Quezada, «Diseño de un Sistema Medidor de Vibraciones para máquinas rotativas de 900rpm hasta 84000rpm,» vol. 12, n° 37, pp. 23-28, 12 Enero 2016.
- [9] Z. López, A. García, G. De Ignacio y C. García, *SENSOR DE VIBRACIONES EN ESTRUCTURAS. CALIBRADO Y PUESTA EN PRÁCTICA*, 2011.
- [10] A. Arce, A. Tech, A. Silva y E. Costa, *Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos*, vol. 58, 2009.

- [11] M. Youssef y N. El-Sheimy, «Wireless Sensor Network: Research vs. Reality Design and Deployment Issues,» *Fifth Annual Conference on Communication Networks and Services Research - CNSR07*, pp. 8-9, 2007.
- [12] A. Cama, M. Acosta, G. Piñeres, J. Caicedo, R. Zamora y J. Supulveda, «Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia,» *Ingeniare*, vol. 24, 2016.
- [13] Vargas, Rodriguez, Otero., *ALTERNATIVAS PARA LA DETECCIÓN Y MONITOREO DE AMENAZAS SÍSMICAS BASADAS EN ARDUINO*, Antioquia, 2013.
- [14] Barrera y Lopez, *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO CON DISPOSITIVOS XBEE APLICADO AL MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIONES EN EL EDIFICIO D DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*, San Salvador, 2019.
- [15] Casanoba y Lamus, «Sistema inalámbrico de adquisición de vibraciones orientado a la detección de movimientos sísmicos con tecnología zigbee.,» *ITECKNE*, 2009.
- [16] Mejia y Salazar, *Diseño e implementacion de un prototipo para el analisis de salud estructural de un puente a travez de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab*, Guayaquil, Guayas, 2019.
- [17] Servicio de Salud y Riesgos Laborales en Centros Educativos, «Ficha de Prevención Vibraciones Mecánicas,» 8 Agosto 2016. [En línea]. Available: [https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10\\_Informaci%C3%B3n/02\\_Fichas\\_generales/Vibraciones\\_mecanicas.pdf](https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10_Informaci%C3%B3n/02_Fichas_generales/Vibraciones_mecanicas.pdf).
- [18] Julián Pérez Porto, «<https://definicion.de/>,» 2010. [En línea]. Available: <https://definicion.de/sensor/>.
- [19] A G Electrónica S.A. , «[agspecinfo.com](http://www.agspecinfo.com/),» 27 12 2016. [En línea]. Available: <http://www.agspecinfo.com/>.
- [20] Enrique Herrera Pérez, *Tecnologías y Redes de Transmision de Datos.*, Mexico: Limusa, 2010.

- [21] A. Mariñelarena, *ZigBee vs Bluetooth vs wifi.*, 2013.
- [22] Vera, Barbosa, Pabón,, *La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física*, Pereira.: Scientia et Technica, 2017.
- [23] Martin y Ruiz, *Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)*, 2007.
- [24] O. T. Artero, *ARDUINO curso práctico de formación*, Madrid: RC libros, 2013, p. 63.
- [25] C. Riba, *Diseño Concurrente*, Catalunya: EDICIONS UPC, 2002, pp. 59 - 62.
- [26] J. M. Ruiz, *Arduino + XBee*, 1 ed., 2012.
- [27] Grupo Alquerque, «Sistema de Numeración Hexagesimal,» 18 Mayo 2012. [En línea]. Available: [http://www.grupoalquerque.es/ferias/2012/archivos/s-n\\_nuevos/s-n\\_hexadecimal.pdf](http://www.grupoalquerque.es/ferias/2012/archivos/s-n_nuevos/s-n_hexadecimal.pdf).
- [28] M. Cacuango, *Implementación del modo API en una red de sensores WSN para la medición de la contaminación auditiva (Tesis de Ingeniería)*, UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS , 2017.
- [29] A. Pardo, *Fundamentos de ordenadores 2*, Madrid, 2005.
- [30] R. Villalobos, *Fundamentos de Programación C++ más de 100 Algoritmos Codificados*, Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L., 2008.
- [31] National Instruments, «LabVIEW Datalogging and Supervisory Control Module Run-Time Manual Datalogging & Supervisory Control Run-Time Manual,» Austin, 2001.
- [32] Lajara y Pelegrí, «LabVIEW Entorno gráfico de programación,» de *LabVIEW Entorno gráfico de programación*, Barcelona, MARCOMBO S.A., 2011, p. 22.

# ANEXOS



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Industrial

# ANEXO I

# MANUAL DE

# USO

MEDIDOR DE VIBRACIONES PARA MONITOREO  
DE SELLADO Y AJUSTE EN EL ÁREA DE  
CONTROL DE CALIDAD DE LA EMPRESA  
DavMotor Cía. Ltda.



**AUTORES:** ARAGÓN BRYAN

VILLARREAL JOHAN



## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INFORMACIÓN GENERAL .....   | 1  |
| COMPONENTES Y PARTES.....   | 2  |
| PUERTOS Y FUNCIONES .....   | 2  |
| COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....   | 7  |
| SUJECIÓN DE DISPOSITIVOS .....  | 9  |
| MODO GENERAL DE EMPLEO .....  | 12 |
| MODOS DE USO .....  | 12 |
| a. Modo Carga .....   | 12 |
| b. Modo Programador.....  | 13 |
| c. Modo Medición .....  | 13 |
| d. Registro de datos.....   | 14 |
| APÉNDICE A HOJA DE DATOS.....   | 14 |
| APÉNDICE B DIAGRAMA DE CONEXIÓN .....   | 17 |
| APÉNDICE C DISPOSITIVO EMISOR 1 .....   | 18 |
| APÉNDICE D DISPOSITIVO EMISOR 2.....  | 19 |
| APÉNDICE E DISPOSITIVO RECEPTOR.....  | 20 |
| APÉNDICE F PLANO - CAJA DE DISPOSITIVO EMISOR .....                             | 21 |
| APÉNDICE G PLANO - TAPA DE MONTAJE DE COMPONENTES DE DISPOSITIVO<br>EMISOR..... | 22 |
| APÉNDICE H PLANO - TAPA DE DISPOSITIVO EMISOR .....                             | 23 |
| APÉNDICE I PLANO – CAJA DISPOSITIVO RECEPTOR.....                               | 24 |
| APÉNDICE J PLANO – TAPA DISPOSITIVO RECEPTOR.....                               | 25 |
| APÉNDICE K ENSAMBLAJE DISPOSITIVO EMISOR.....                                   | 26 |
| APÉNDICE L ENSAMBLAJE DISPOSITIVO RECEPTOR.....                                 | 27 |

## INFORMACIÓN GENERAL



Evitar mojar los dispositivos, diseñados para uso interno.

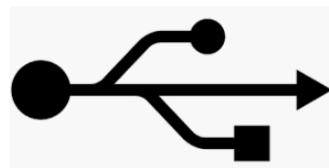
Uso externo bajo supervisión.



Nunca permita que los imanes del sensor piezoeléctrico se adhieran en los módulos de procesamiento, emisión y recepción de datos.



Evite golpear los dispositivos.



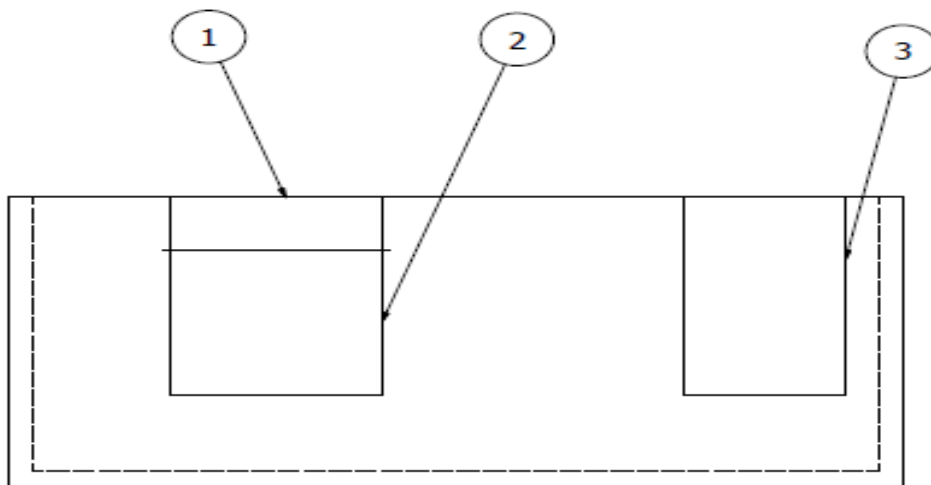
## COMPONENTES Y PARTES

El medidor de vibraciones consta de tres partes fundamentales, dos emisores y un receptor indicadas en el Apéndice C, Apéndice D, y Apéndice E respectivamente, de igual manera los planos de la carcasa del dispositivo emisor se muestran en los Apéndices F, G y H. Los planos de la carcasa de la unidad central de procesamiento (dispositivo receptor) se muestran en los Apéndices J y K. El ensamble del dispositivo responde a lo indicado en el Apéndice L y M, para el emisor y receptor respectivamente, en conjunto con el diagrama de conexiones mostrado en el Apéndice B

De la misma manera los puertos de comunicación están determinados y numerados de acuerdo a la Figura I.1. para el receptor, en donde se muestra su Vista Frontal (VF) de acuerdo al apéndice E, de igual forma el emisor en la Figura I.2. muestra la Vista Frontal y Vista Posterior de acuerdo al Apéndice D Y C.

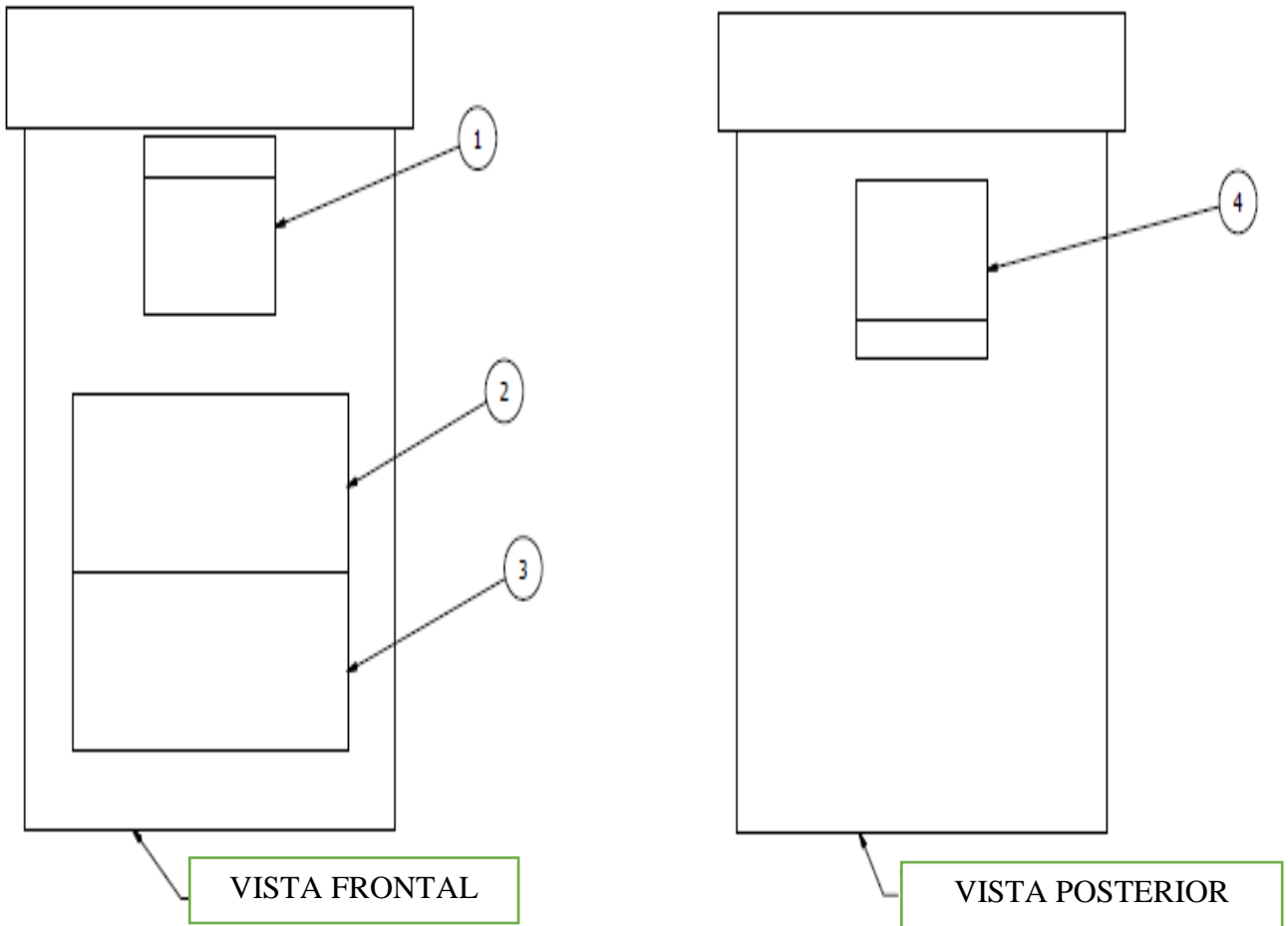
### PUERTOS Y FUNCIONES

**Figura I.1.** Puertos de comunicación para el dispositivo receptor



| LISTA DE PIEZAS |            |              |
|-----------------|------------|--------------|
| Nº DE PIEZA     | ELEMENTO   | DESCRIPCIÓN  |
| 1               | USB MINI B | PROGRAMADOR  |
| 2               | USB TIPO B | ENERGIZACIÓN |
| 3               | CONECTOR   | ENERGIZACIÓN |

**Figura I.2.** Puertos de comunicación para el dispositivo emisor



| LISTA DE PIEZAS |             |                   |
|-----------------|-------------|-------------------|
| ELEMENTO        | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN       |
| USB MINI B      | 1           | ENERGIZACIÓN      |
| USB A HEMBRA    | 2           | ENERGIZACIÓN      |
| MICRO USB       | 3           | CARGA             |
| TERMINALES      | 4           | LECTURA ANALÓGICA |

Los puertos de conexión de los dispositivos deben ser interconectados con el cable adecuado, la Tabla I.1. muestra una explicación de la funcionalidad y el tipo de cable que debe ser utilizado de acuerdo al puerto que se desee usar para el dispositivo emisor, por el contrario la Tabla I.2. detalla las mismas características para el dispositivo receptor.

**Tabla I.1.** Funcionalidad de puertos de conexión (emisor) de acuerdo a Figura I.1.

| N° | Nombre de Puerto | Cable utilizado   | Conexión desde-hacia   | Función de conexión                    |
|----|------------------|---|--|--|
| 1  | USB Mini B       |   | Desde puerto USB A hembra (banco de batería "OUT 5V") hacia USB Mini B (XBee Explorer USB) | Energización de dispositivo emisor     |
| 2  | USB A Hembra     |   |  |  |
| 3  | Micro USB        |  | Desde puerto micro USB (banco de baterías) hacia Fuente de carga de baterías (ordenador)   | Carga de batería de dispositivo emisor |

|   |                          |  |   |   |
|---|--------------------------|--|---|---|
| 4 | Terminales tipo tornillo |  | Desde módulo KY0138 hacia sensor piezoeléctrico | Interconexión entre sensor y módulo de adaptación de señal. |
|---|--------------------------|--|---|---|

**Tabla I.2.** Funcionalidad de puertos de conexión (receptor) de acuerdo a Figura I.2.

| N° | Nombre de Puerto | Cable utilizado   | Conexión desde-hacia   | Función de conexión  |
|----|------------------|---|--|--|
| 1  | USB Míni B       |  | Desde puerto Mini B (XBee Explorer Usb) hacia Puerto USB (ordenador) | Función solo para modo programador (reprogramación de módulos de radiofrecuencia XBee; lectura de XBee coordinador en ordenador) |



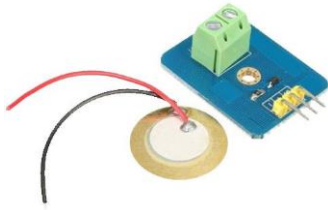

|   |                       |   |  |   |
|---|-----------------------|---|--|---|
| 2 | USB Tipo B            |   | <p>Desde puerto USB B (Arduino UNO), hacia USB A hembra (Ordenador)</p>              | <p>Energización de dispositivo receptor.<br/>En modo programador permite la carga de nuevo código.</p>                            |
| 3 | Conector de Adaptador |  | <p>Desde conector de adaptador de Arduino UNO hacia batería (recomendada de 12V)</p> | <p>Energización de placa Arduino UNO<br/><b>no incluye en medidor de vibraciones, no utilizado en el proceso de medición.</b></p> |

## COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Las dos unidades emisoras se conforman de componentes idénticos e iguales conexiones, su diferencia yace en la programación de dichos componentes. En la Tabla I.3. se muestran los componentes que forman parte de la unidad emisora, y en la Tabla I.4. se muestran los componentes de la unidad receptora; todos con su nombre y la función que cumple dentro del medidor de vibraciones.




### Emisor

**Tabla I.3.** Detalle de componentes electrónicos del dispositivo emisor

| N° | Nombre del Componente                   | Figura   | Función  |
|----|---|--|--|
| 1  | XBee Series 2                           |    | Comunicación inalámbrica (envío de datos “modo router en la topología de red”) |
| 2  | XBee Explorer USB                       |  | Adaptación de XBee S2 para energización y programación                         |
| 3  | Sensor Piezoeléctrico con módulo KY0138 |   | Captación y acondicionamiento de señales de vibración                          |
| 4  | Banco de batería RoHS 2600 mA           |  | Acumulación de energía eléctrica para energización de módulo emisor            |

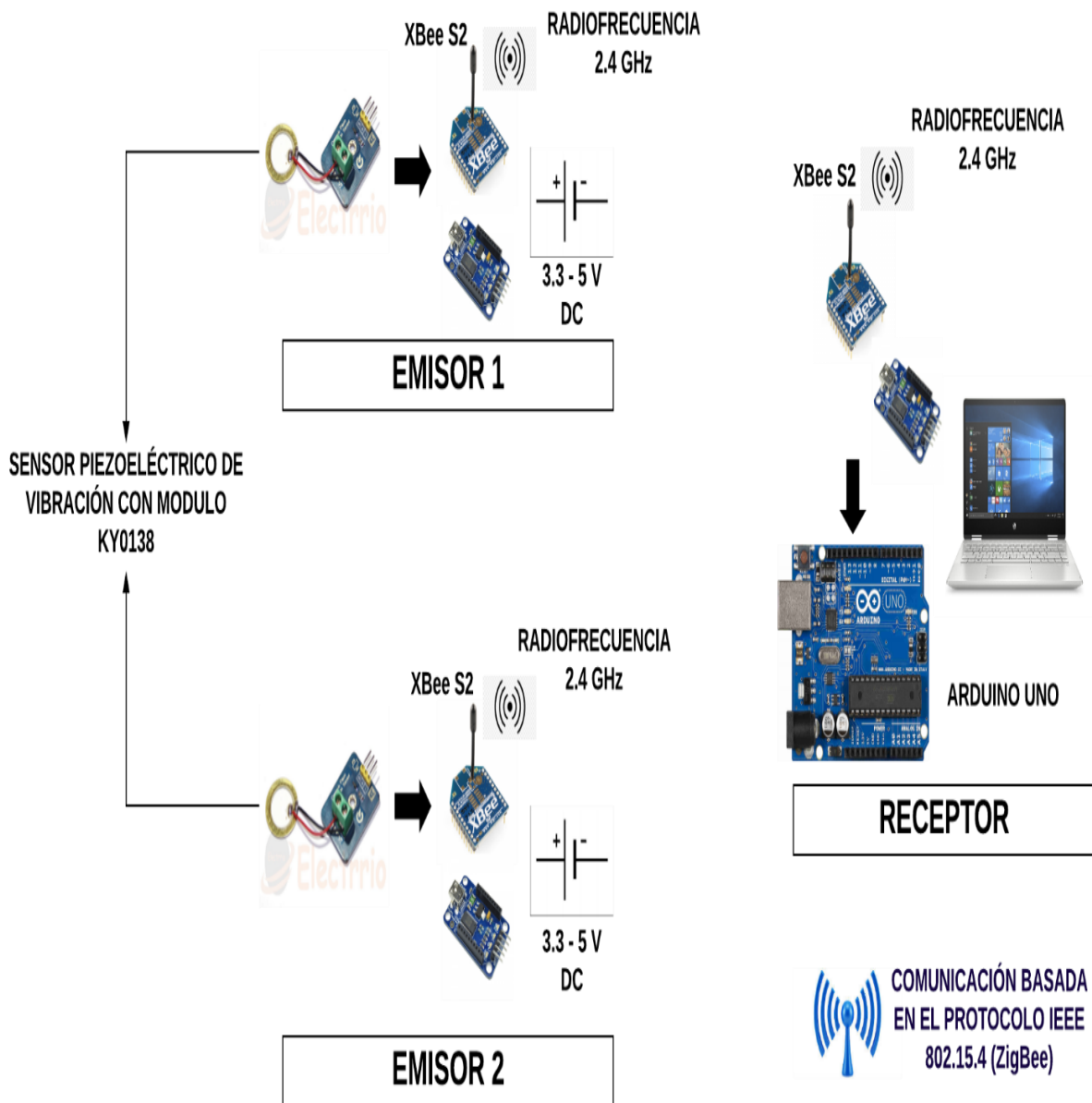
## Receptor

Tabla I.4. Detalle de componentes electrónicos del dispositivo receptor

| N° | Nombre del Componente | Figura  | Función   |
|----|-----------------------|---|---|
| 1  | XBee Series 2         |  A small blue PCB module with a black antenna. The text 'XBee' is printed on the board.                                    | Comunicación inalámbrica (recepción de datos “modo coordinador en la topología de red”) |
| 2  | XBee Explorer USB     |  A blue PCB module with a USB connector on the left and several pins on the right. It features a USB-to-UART bridge chip. | Adaptación de XBee S2 para energización y programación                                  |
| 3  | Arduino UNO R3        |  A standard blue Arduino Uno R3 board with a USB Type-B port, a DC power jack, and various digital and analog pins.     | Unidad de procesamiento de datos  |

En la Figura I.3. se muestra la disposición de los componentes para conformar las tres partes fundamentales del medidor de vibraciones.



Figura I.3. Disposición de componentes electrónicos por cada dispositivo



### SUJECCIÓN DE DISPOSITIVOS

El medidor de vibraciones está diseñado para estar sujeto durante toda la medición, todos los sistemas de sujeción están implementados dentro del dispositivo emisor, por otra parte el dispositivo receptor está conectado hacia el ordenador y vigilado por la persona encargada del proceso de medición. A continuación se enuncia una breve guía de los sistemas de sujeción implementados dentro de los dispositivos emisores.

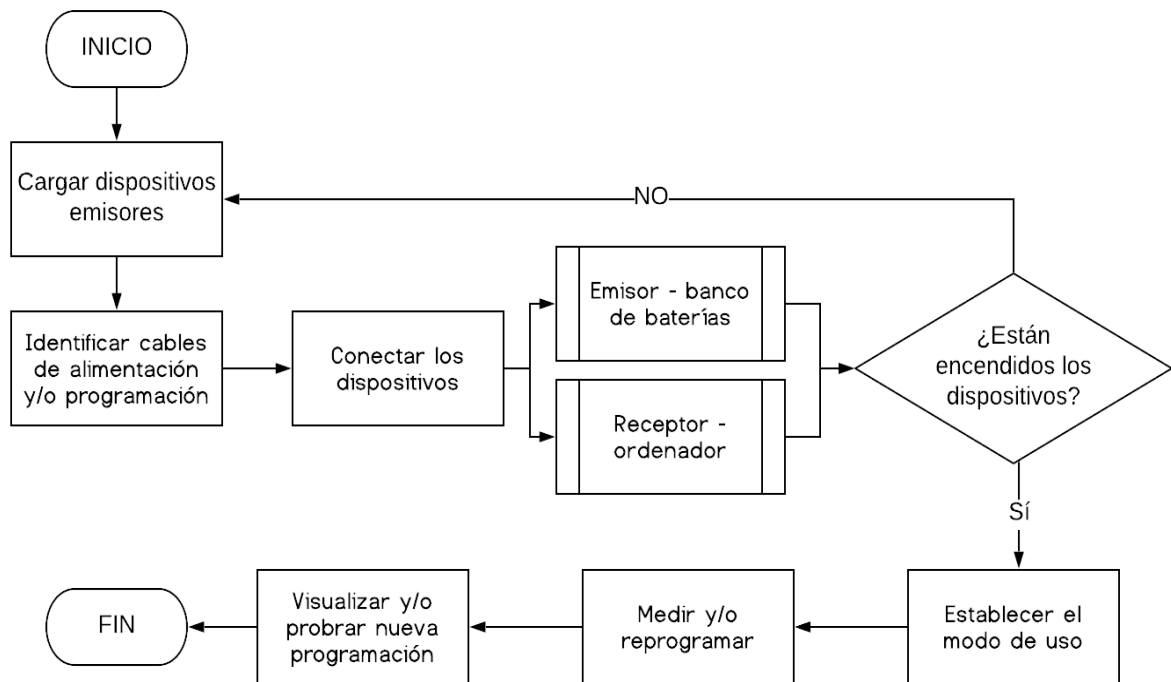
**Tabla I.5.** Descripción de sistemas de sujeción de dispositivos emisores

| Sistema utilizado   | Descripción   | Figura   | Condición de Superficies  | Modo de empleo   |
|---------------------|---|--|---|--|
| Sistema de ventosas | Sistema tipo araña de 5 ventosas de 15 mm de diámetro, ensamblado en la caja del dispositivo emisor |    | Superficies planas, preferencialmente de cristal (vidrios, parabrisas, ventanas).   | Ubique cerca al punto de medición en donde desea sujetar la caja del dispositivo emisor.   |
| Imanes de Neodimio  | Cuatro Imanes circulares de 25 mm de diámetro y 3 mm de espesor                                     |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Superficies metálicas.</li> <li>b. Superficies hasta 17 mm de espesor con fácil acceso</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ubicar el punto de medición y colocar la sonda entre los imanes y la superficie metálica.</li> <li>b. Colocar un imán en el punto a medir sujetado temporalmente con cinta, en la otra cara de la superficie en donde se tomará la medición, colocar la sonda entre el imán y dicha superficie.</li> </ul> |

## MODO GENERAL DE EMPLEO

El modo de empleo del medidor de vibraciones responde al proceso graficado a continuación.

Figura I.4. Flujo de proceso para empleo del medidor de vibraciones



Elaboración propia. 2020

## MODOS DE USO

La Figura I.4. permite determinar un orden lógico de uso del medidor de vibraciones, además ayuda a establecer los distintos modos de uso que brinda en su funcionamiento el instrumento medidor de vibraciones.

A continuación se detallan los modos de uso por cada literal.

### a) Modo Carga

Usar el cable USB Macho a Micro USB mostrado en la Tabla I.1. (número 3), para conectar el banco de batería de los dispositivos emisores hacia un ordenador o mediante un adaptador de corriente (cargador estándar de teléfonos inteligentes) conectar hacia un tomacorriente de 110 Voltios, los leds azul y rojo (vistos a través de las cajas) parpadearán indicando que los dispositivos se encuentran cargando.

## **b) Modo Programador**

Para entrar en este modo es necesario contar con el software Arduino, de esta manera se podrá reingresar un nuevo código de programación para darle nuevas funcionalidades a la unidad de procesamiento o para corregir errores provocados por mala manipulación de los dispositivos (relacionados a programación).

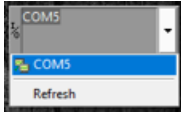


Los pasos para entrar en el modo programador son:

1. Conecte el módulo receptor (unidad central de procesamiento) hacia el ordenador, utilizando el cable USB macho a USB Tipo B Tabla I.2. (número 2).
2. Una vez detectado el dispositivo por el ordenador, ingrese en la aplicación Arduino y cree o descargue el código a reprogramar; en caso de no contar con la capacitación adecuada contáctese con el fabricante.
3. Retirar la tapa del dispositivo receptor del medidor de vibraciones.
4. Desconectar los pines 5V y GND del Arduino; mostrados en el diagrama de conexión, revisar Apéndice B.
5. Si se ha creado un nuevo código o se ha modificado el existente se procede a la carga de este en la placa Arduino, para esto se utiliza la opción “subir” del software en mención.
6. Se realiza un testeo o prueba de funcionamiento del nuevo código.

## **c) Modo Medición**

Los pasos para entrar en modo medición son:

1. Conecte el módulo receptor (unidad central de procesamiento) hacia el ordenador, utilizando el cable de puerto USB macho a USB Tipo B Tabla I.2. (número 2)
2. Una vez leído el dispositivo receptor, ejecute la aplicación de visualización de fábrica
3. Seleccionar el puerto COM en el cual se conectó el dispositivo receptor. En caso de no conocer el puerto COM donde se conectó el dispositivo se realiza el proceso siguiente (para Windows).
  - 3.1. Abrir mediante el comando “Inicio”+”R” la herramienta “Ejecutar”
  - 3.2. Escribir el comando “devmgmt.msc” y esperar a la ejecución del administrador de dispositivos.
  - 3.3. Una vez dentro del administrador de dispositivos buscar la opción “Puertos (COM y LPT)” y seleccionar.
  - 3.4. Desconecte y vuelva a conectar el dispositivo para conocer el puerto COM de su ordenador al cual se conectó el dispositivo.
4. Ubicar en los puntos de medición los sensores piezoeléctricos de los dispositivos emisores y asegurarlos de una manera adecuada con los sistemas de sujeción (ventosas e imanes), referirse a la Tabla I.5.

5. Energizar el dispositivo emisor, puenteando el puerto número 2 (Figura I.1.) del banco de baterías con el puerto número 1 (Figura I.1.) para energización del módulo Explorer USB mostrado en la figura 2 de la Tabla I.3.
6. Seleccionar dentro de la plataforma visual el puerto COM al cual está conectado el dispositivo emisor, pulsando en la flecha hacia abajo en el recuadro del “Puerto Arduino”, llenar o escribir sobre los campos sensor 1, sensor 2 y operador los datos informativos de acuerdo a la prueba a realizarse. 
7. Iniciar la medición pulsando en “Run” en la barra de herramientas de la aplicación. 
8. Guardar la medición en una ubicación del ordenador.
9. Visualizar la medición en la plataforma de fábrica (datos 1 y datos 2).
10. Realizar la medición durante el tiempo de prueba 125 segundos o parar la medición antes pulsando el botón “STOP” de la barra de herramientas. 

#### d) Registro de datos

Los pasos para entrar en modo registro de datos son:

1. Ejecutar los 7 primeros pasos del modo de medición.
2. **Guardar la medición a realizarse en formato xls, ubicando el nombre del archivo seguido de “.xls”; ejemplo: Test1.xls**
3. Visualizar la medición en la plataforma de fábrica (datos 1 y datos 2).
4. Realizar la medición durante el tiempo de prueba 125 segundos o parar la medición antes pulsando el botón “STOP” de la barra de herramientas
5. Dirigirse hacia la ubicación donde se guardó el archivo en formato .xls
6. Abrir el documento y copiar los datos de medición (datos 1 y datos 2). Seguir los pasos del dashboard.
7. Revisar y analizar el informe de datos de vibración.

# APÉNDICE A

## HOJA DE DATOS

### Datos de fabricación

#### Módulo Receptor

| Componente        | Funcionalidad                             | Fabricante         | País   |
|-------------------|---|--------------------|--------|
| Arduino UNO       | Unidad central de procesamiento           | Smart Projects     | Italia |
| XBee Explorer USB | Adaptación de módulo XBee S2              | Digi International | USA    |
| XBee Series 2     | Módulo de comunicación de radiofrecuencia | Digi International | USA    |

#### Módulo Emisor

| Componente                              | Funcionalidad                                | Fabricante           | País  |
|---|--|----------------------|-------|
| XBee Explorer USB                       | Adaptación de módulo XBee S2                 | Digi International   | USA   |
| XBee Series 2                           | Módulo de comunicación de radiofrecuencia    | Digi International   | USA   |
| Power Bank                              | Alimentación de XBee Explorer USB            | RoHS                 | China |
| Sensor Piezoeléctrico con módulo KY0138 | Toma de señal de variable física (vibración) | RobotBase (alsRobot) | China |

### Descripción Funcional

El medido de vibraciones para control de calidad en buses de la empresa DavMotor Cía. Ltda. es un dispositivo construido para el monitoreo y registro de datos de la variable física en mención en el la actividad de control de sellado y ajuste.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### Medidor de vibración para control de calidad en buses de la empresa DavMotor Cía. Ltda.

#### DIMENSIONES

| VARIABLE | EMISOR 1              | EMISOR 2              | RECEPTOR              |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Largo    | 106 mm                | 103 mm                | 78,98 mm              |
| Ancho    | 34 mm                 | 34 mm                 | 58 mm                 |
| Altura   | 40 mm                 | 40 mm                 | 38,46 mm              |
| Área     | 36,04 cm <sup>2</sup> | 36,04 cm <sup>2</sup> | 45,81 cm <sup>2</sup> |

## COMPONENTES

| <i>ELEMENTO</i>                         | <i>EMISOR 1</i> | <i>EMISOR 2</i> | <i>RECEPTOR</i> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Arduino UNO                             |                 |                 | X               |
| Sensor Piezoeléctrico con módulo KY0138 | X               | X               |                 |
| Módulo Xbee S2                          | X               | X               | X               |
| Banco de Baterías 5 V DC                | X               | X               |                 |
| XBEE EXPLORER USB                       | X               | X               | X               |
| Sistema de adherencia                   | X               | X               |                 |

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### ARDUINO UNO

| <i>ESPECIFICACIÓN</i>                     | <i>EMISOR 1</i> | <i>EMISOR 2</i> | <i>RECEPTOR</i>                                 |
|---|-----------------|-----------------|---|
| Microcontrolador                          |                 |                 | ATmega328                                       |
| Tipo de alimentación                      |                 |                 | Cable USB ó Baterías                            |
| Voltaje de operación                      |                 |                 | 5 V   |
| Voltaje de entrada (óptimo)               |                 |                 | 7 - 12 V  |
| Voltaje límite de entrada                 |                 |                 | 6 - 20 V  |
| Pines de entrada/salida digital           |                 |                 | 14 (6 para uso de salida PWM)                   |
| Pines de entradas analógicas              |                 |                 | 6   |
| Corriente DC en pines de entradas/salidas |                 |                 | 40 mA   |
| Corriente DC en pin de 3.3 V              |                 |                 | 50 Ma   |
| Memoria flash                             |                 |                 | 31,5 Kb netos + 0,5 Kb usados por el bootloader |
| RAM Estática                              |                 |                 | 2 Kb  |
| Memoria EEPROM                            |                 |                 | 1 Kb  |
| Frecuencia del reloj                      |                 |                 | 16 MHz  |
| Serie de señales TTL                      |                 |                 | Pin RX - Pin TX                                 |
| Interrupción externa                      |                 |                 | Pin 2 y Pin 3                                   |
| Comunicación SPI                          |                 |                 | Pin 10, 11, 12, 13                              |

### SENSOR PIEZOELÉCTRICO DE VIBRACIÓN

| <i>ESPECIFICACIÓN</i>   | <i>EMISOR 1</i>        | <i>EMISOR 2</i>        | <i>RECEPTOR</i> |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| Tipo de salida          | Analógica              | Analógica              |                 |
| Voltaje de alimentación | 3.3 - 5 V              | 3.3 - 5 V              |                 |
| Corriente               | < 1 mA                 | < 1 mA                 |                 |
| Circuito Integrado      | KY0138                 | KY0138                 |                 |
| Conexiones              | Terminales de tornillo | Terminales de tornillo |                 |

**MÓDULO XBEE S2**

| <i>ESPECIFICACIÓN</i>                                     | <i>EMISOR 1</i>  | <i>EMISOR 2</i>  | <i>RECEPTOR</i>  |
|---|--|--|--|
| <b>Señal de salida</b>                                    | Radiofrecuencia  | Radiofrecuencia  | Radiofrecuencia  |
| <b>Banda de operación de frecuencia</b>                   | 2,4 GHz  | 2,4 GHz  | 2,4 GHz  |
| <b>Rango en interiores o ambientes urbanos</b>            | 40 m   | 40 m   | 40 m   |
| <b>Rango en exteriores o ambientes con poco obstáculo</b> | 120 m  | 120 m  | 120 m  |
| <b>Voltaje de entrada</b>                                 | 2,8 - 3,4 V  | 2,8 - 3,4 V  | 2,8 - 3,4 V  |
| <b>Corriente de operación</b>                             | 40mA (@3.3 V)  | 40mA (@3.3 V)  | 40mA (@3.3 V)  |
| <b>Temperatura de operación</b>                           | -40 a 85 °C  | -40 a 85 °C  | -40 a 85 °C  |
| <b>Tipos de redes soportadas</b>                          | Punto a punto<br>Punto - multipunto<br>Peer - Peer<br>MESH | Punto a punto<br>Punto - multipunto<br>Peer - Peer<br>MESH | Punto a punto<br>Punto - multipunto<br>Peer - Peer<br>MESH |
| <b>Antenas compatibles</b>                                | Integrated Whip<br>Chip<br>RPSMA<br>U.FL Conector          | Integrated Whip<br>Chip<br>RPSMA<br>U.FL Conector          | Integrated Whip<br>Chip<br>RPSMA<br>U.FL Conector          |
| <b>Número de Pines</b>                                    | 20   | 20   | 20   |
| <b>Número de entradas analógicas</b>                      | 4 (Pin 17, 18, 19, 20)                                     | 4 (Pin 17, 18, 19, 20)                                     | 4 (Pin 17, 18, 19, 20)                                     |
| <b>Conexión mínima</b>                                    | VCC (Pin 1)<br>GND (Pin 10)<br>DOUT (Pin 2)<br>DIN(Pin3)   | VCC (Pin 1)<br>GND (Pin 10)<br>DOUT (Pin 2)<br>DIN(Pin3)   | VCC (Pin 1)<br>GND (Pin 10)<br>DOUT (Pin 2)<br>DIN(Pin3)   |

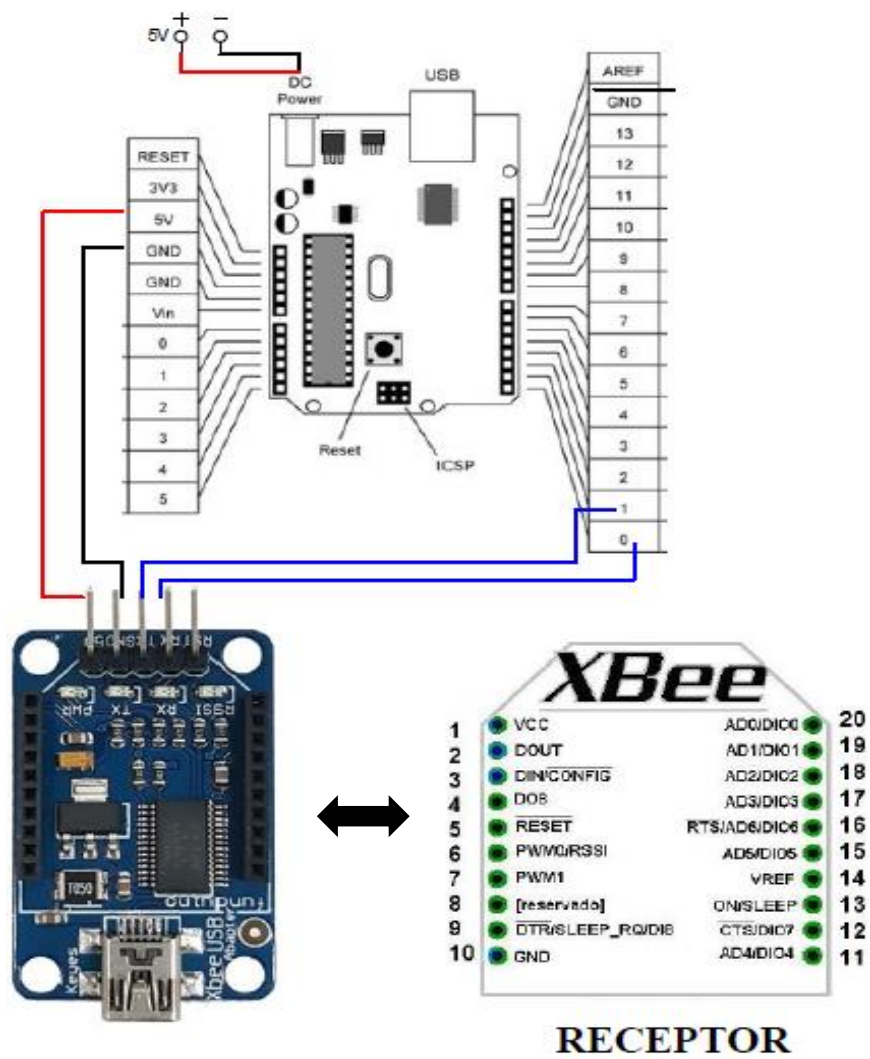
**XBEE EXPLORER USB**

| <i>ESPECIFICACIÓN</i>           | <i>EMISOR 1</i>                                     | <i>EMISOR 2</i>                                     | <i>RECEPTOR</i>                                     |
|---------------------------------|---|---|---|
| <b>Voltaje de alimentación</b>  | 5 V DC (cable usb)<br>3,3 V DC (generados por Xbee) | 5 V DC (cable usb)<br>3,3 V DC (generados por Xbee) | 5 V DC (cable usb)<br>3,3 V DC (generados por Xbee) |
| <b>Temperatura de operación</b> | -40 a 70 °C   | -40 a 70 °C   | -40 a 70 °C   |

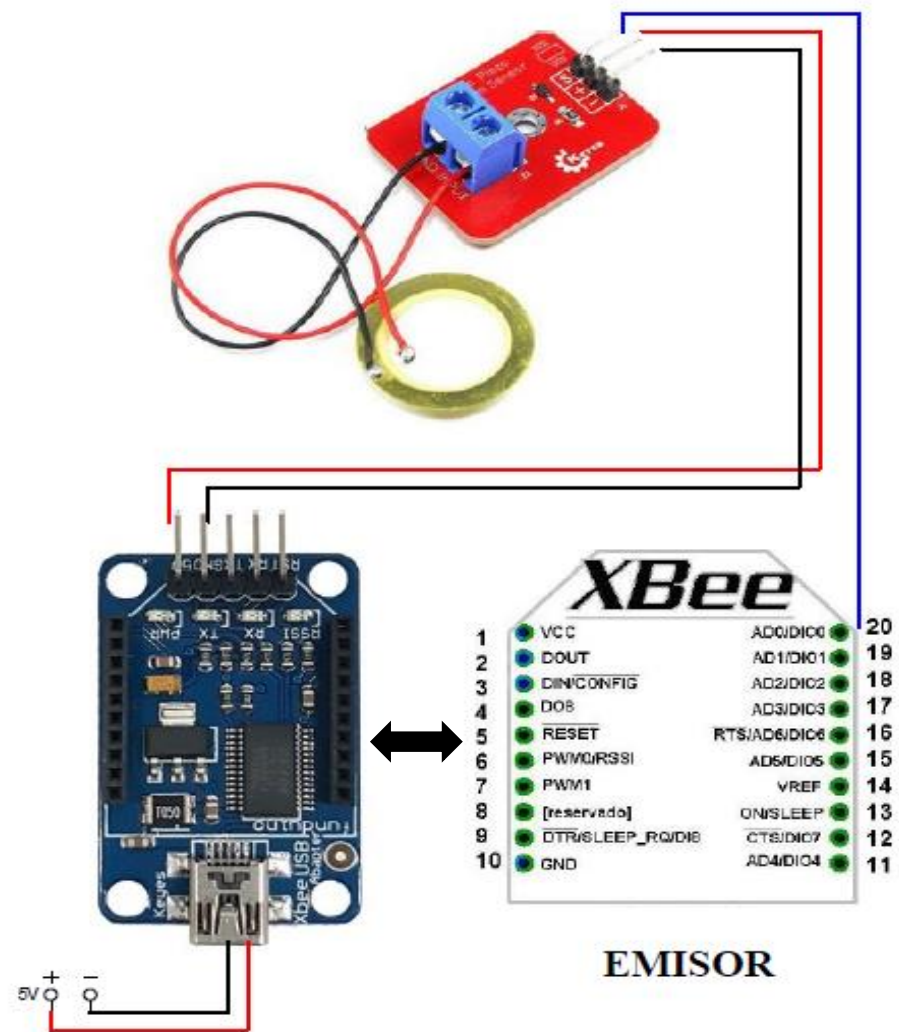
**BANCO DE BATERÍAS 5 V DC**

| <i>ESPECIFICACIÓN</i>              | <i>EMISOR 1</i>                          | <i>EMISOR 2</i>                          | <i>RECEPTOR</i> |
|------------------------------------|--|--|-----------------|
| <b>Capacidad</b>                   | 2600 mAh                                 | 2600 mAh                                 |                 |
| <b>Entrada y Salida de Voltaje</b> | 5 V DC                                   | 5 V DC                                   |                 |
| <b>Entrada de Corriente</b>        | 1,5 A                                    | 1,5 A                                    |                 |
| <b>Salida de Corriente</b>         | 2 A                                      | 2 A                                      |                 |
| <b>Tiempo de Carga Total</b>       | 1 hora 45 min (usando cargador de 1,5 A) | 1 hora 45 min (usando cargador de 1,5 A) |                 |
| <b>Tiempo de Descarga Total</b>    | 24 horas (n=1,27)                        | 24 horas (n=1,27)                        |                 |

## DIAGRAMA DE CONEXIÓN

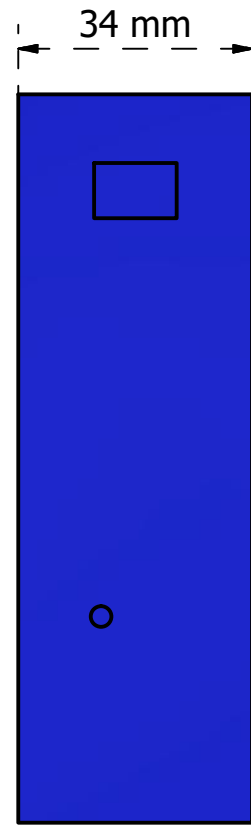
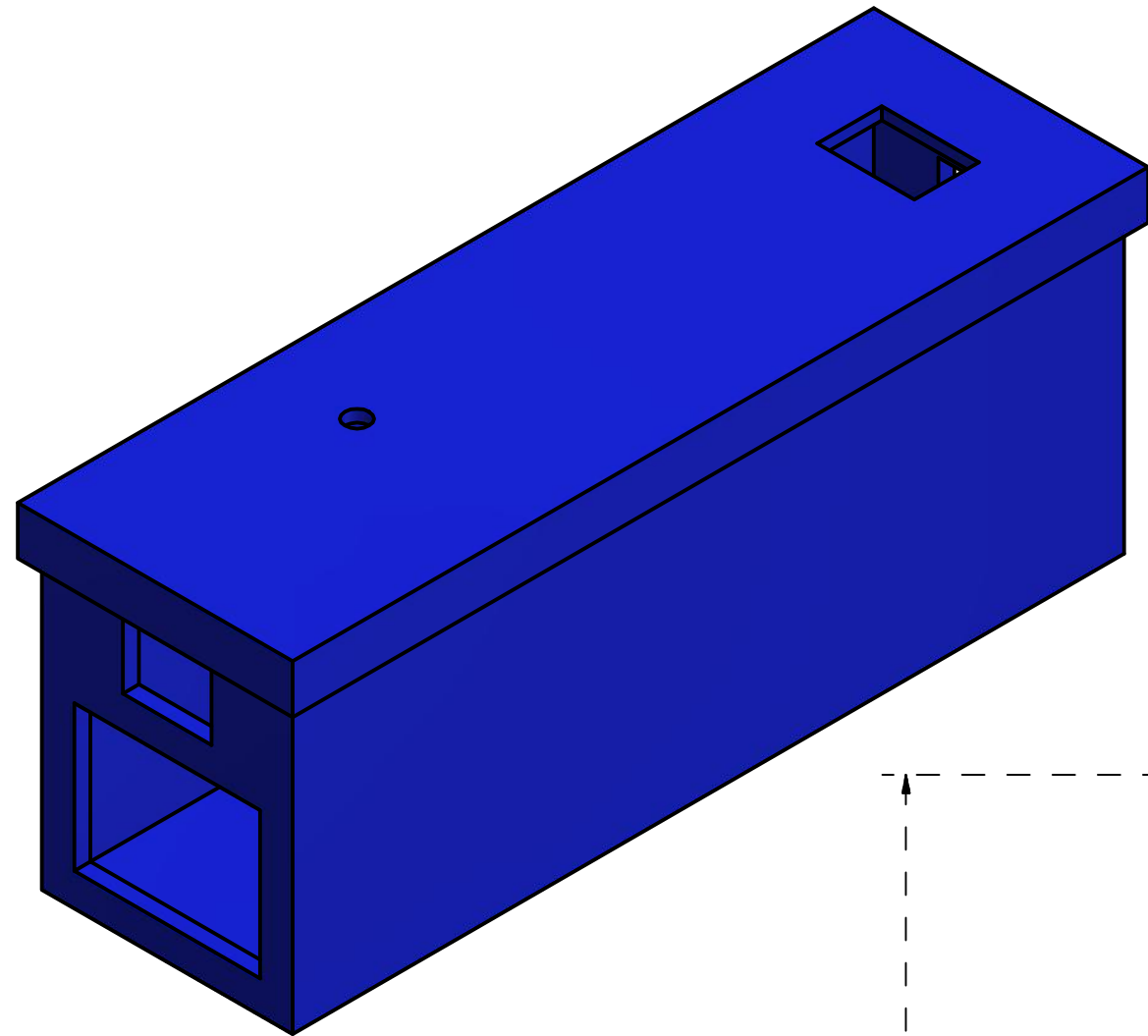


## APÉNDICE B

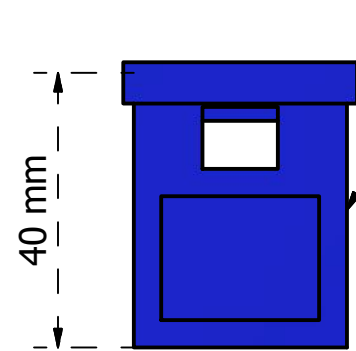
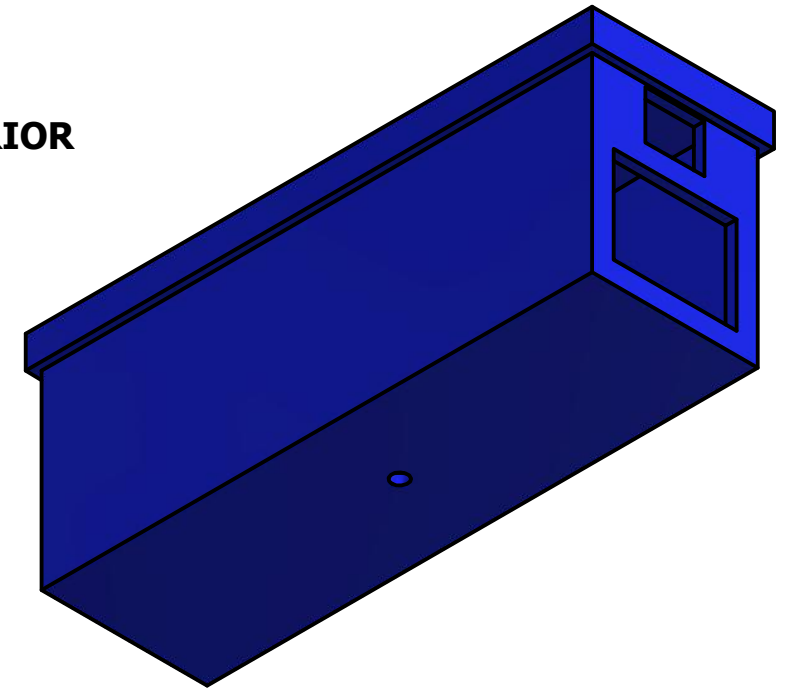


# APÉNDICE C

## DISPOSITIVO EMISOR 1



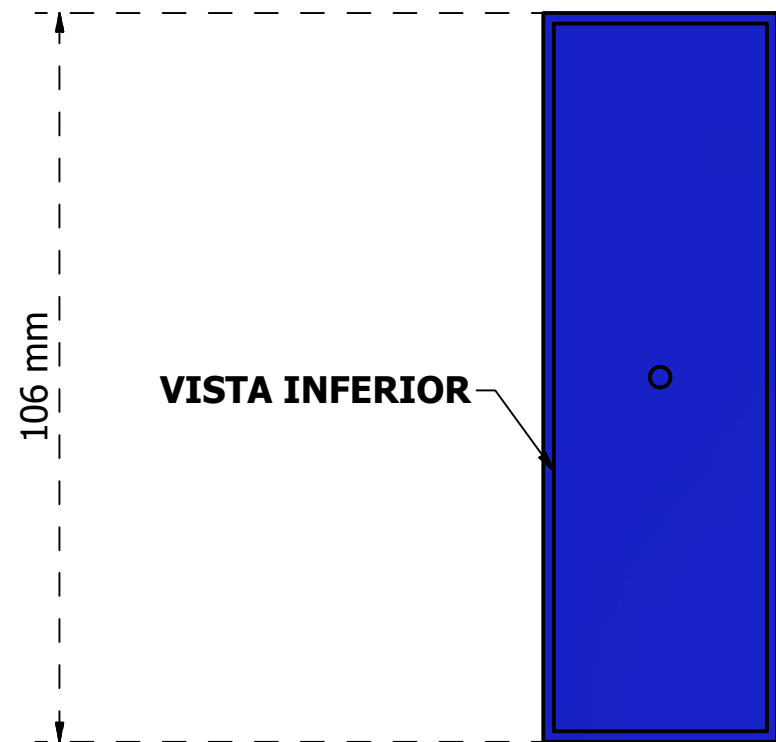
VISTA SUPERIOR



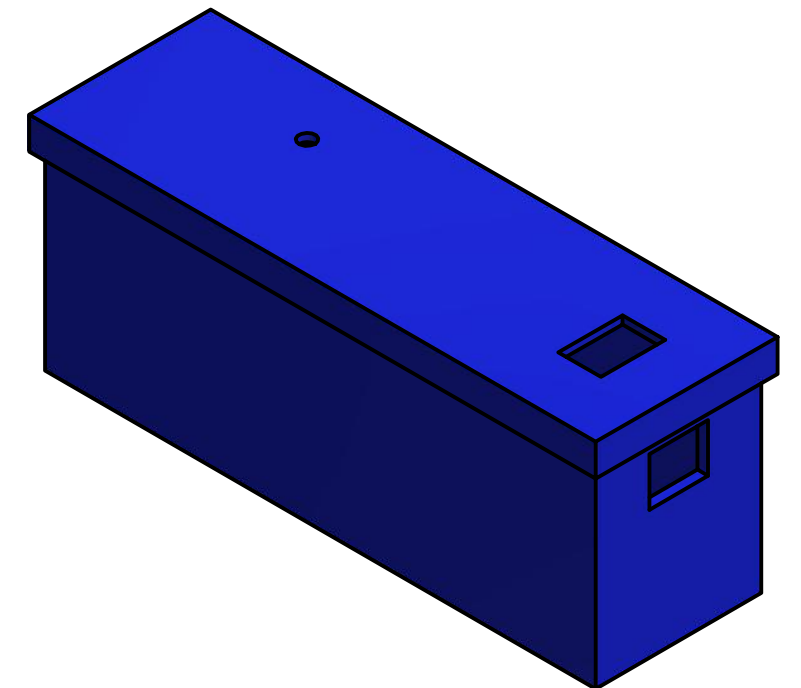
VF



VISTA LATERAL B

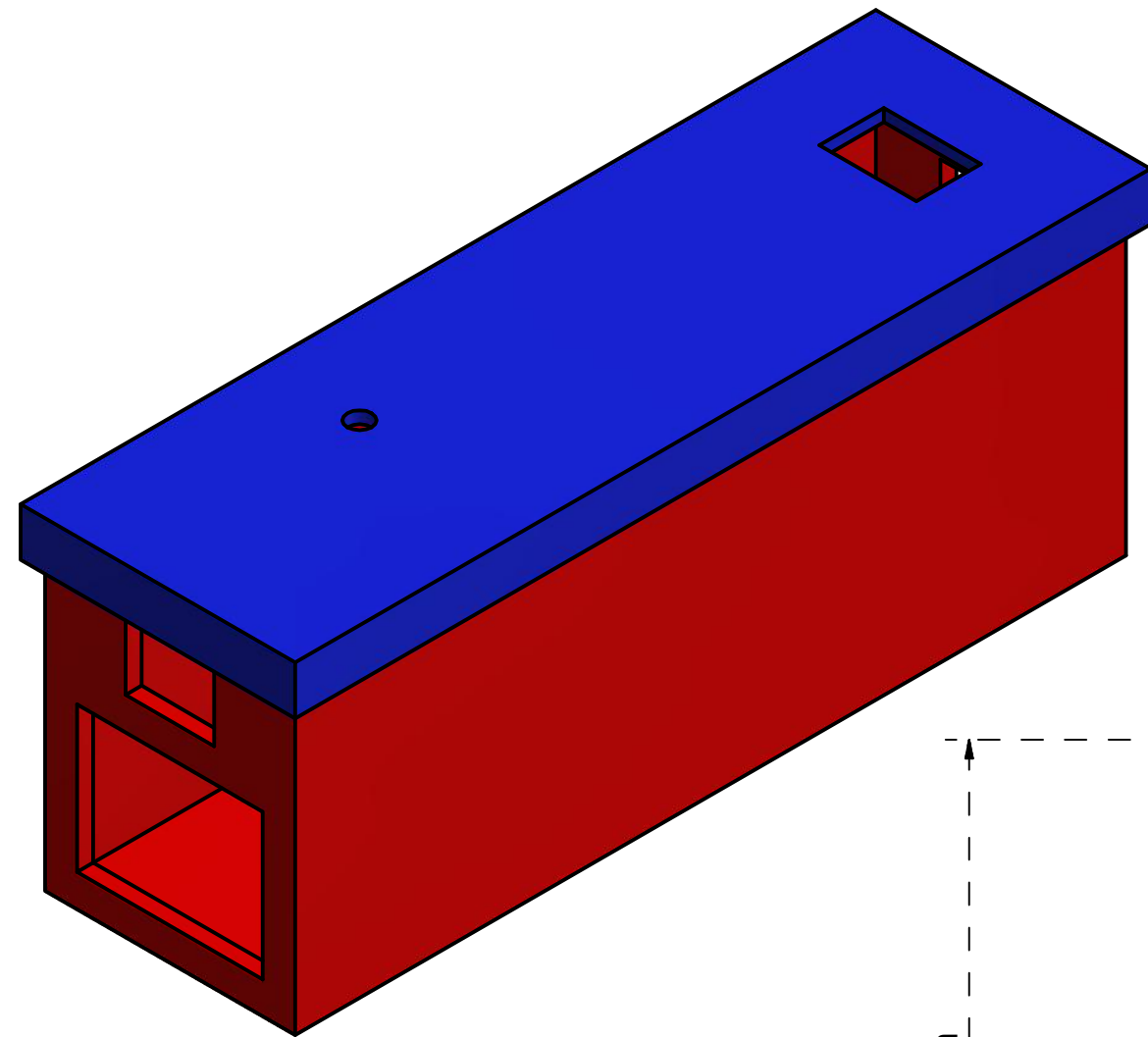


VISTA INFERIOR

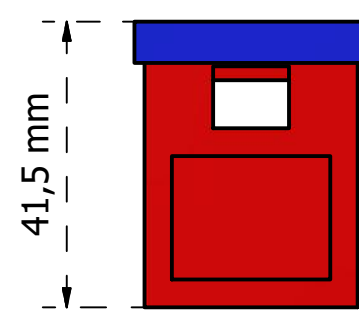
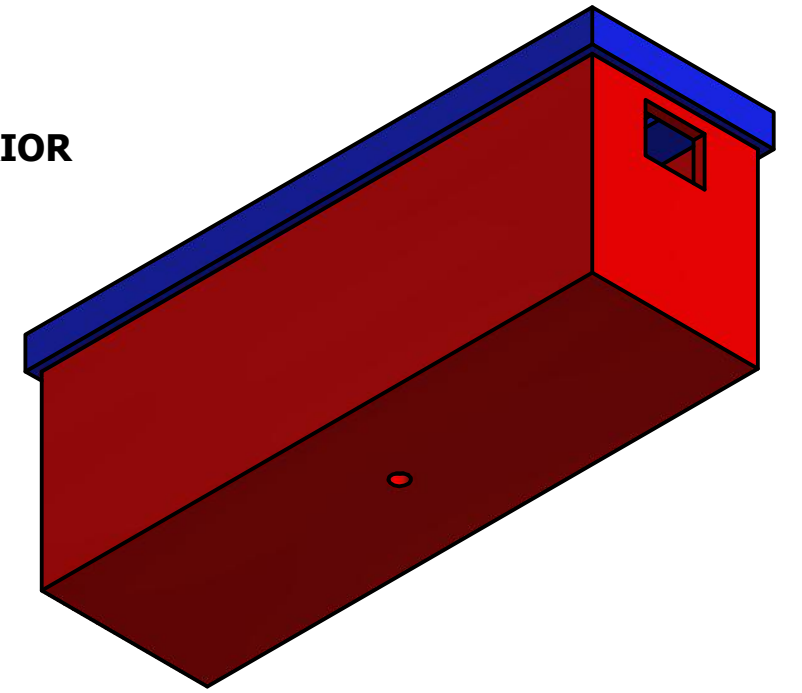


# APÉNDICE D

## DISPOSITIVO EMISOR 2



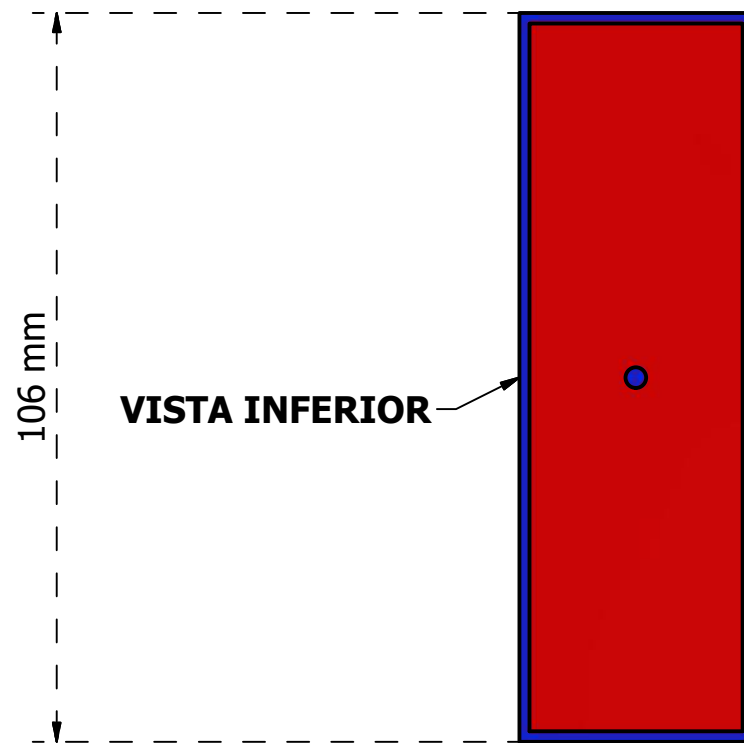
VISTA SUPERIOR



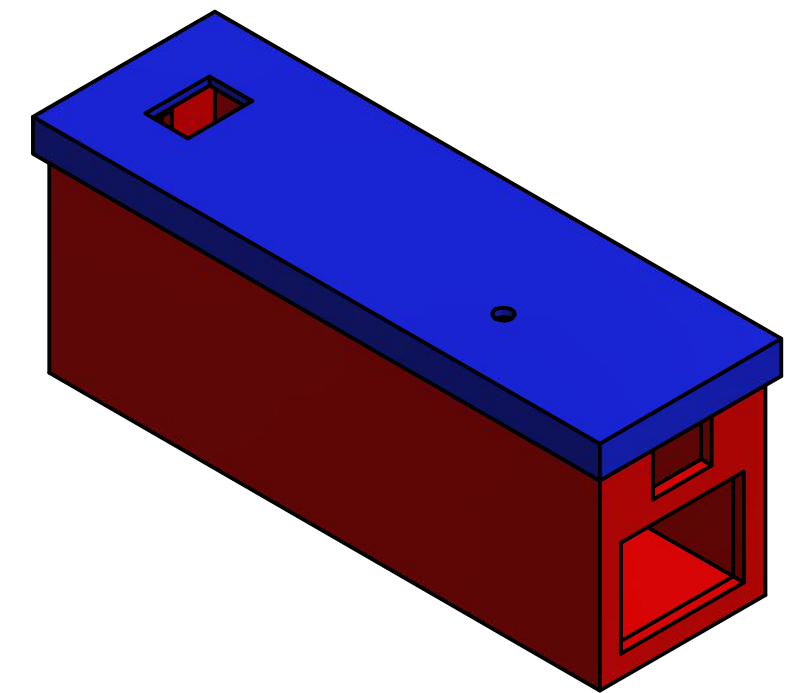
VF



VISTA LATERAL

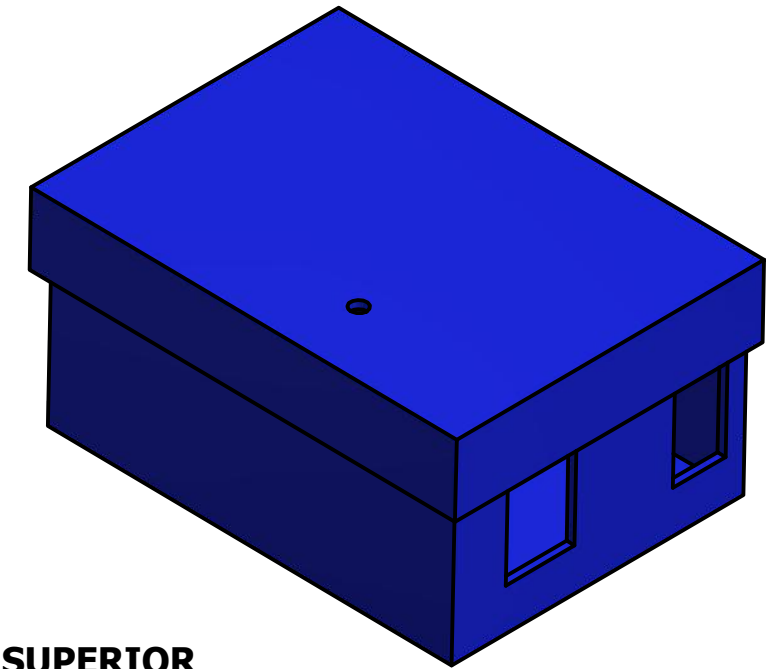
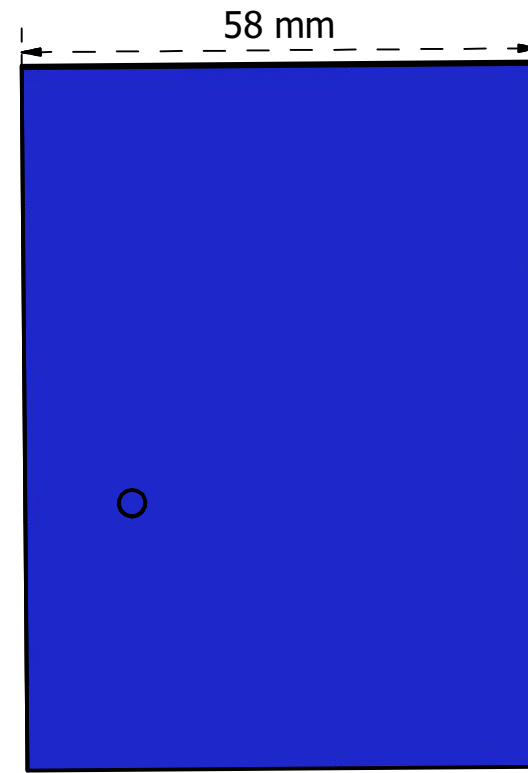
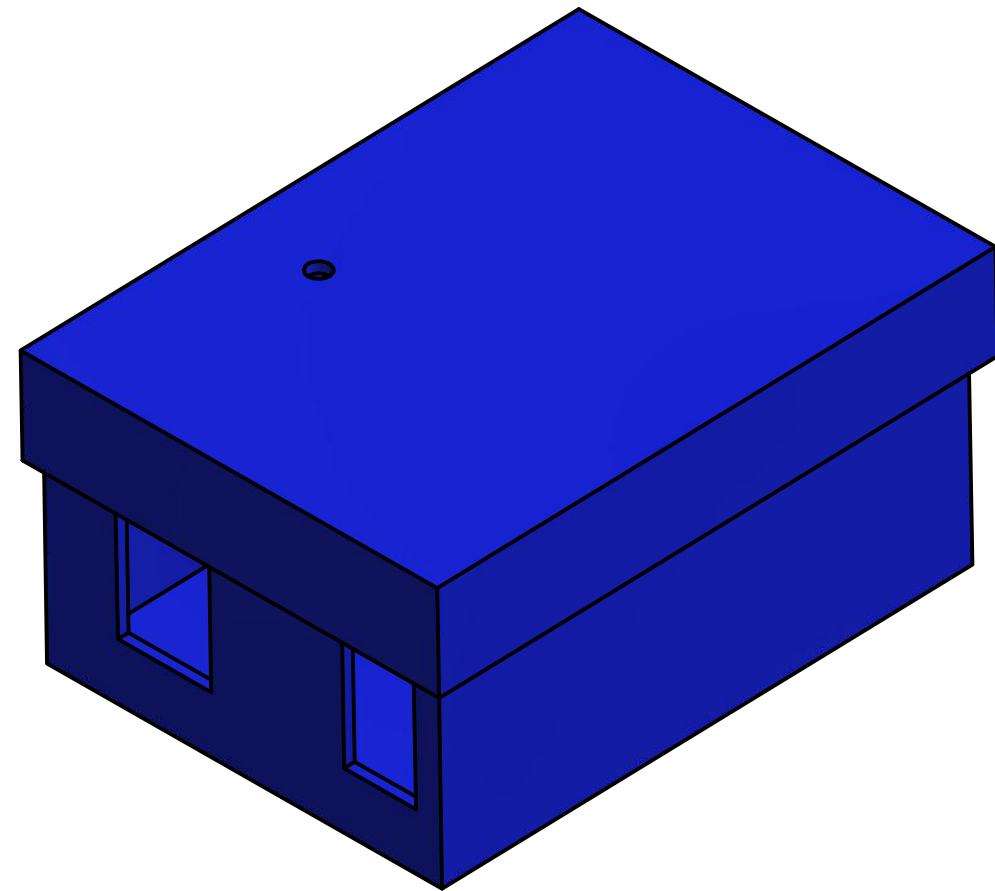


VISTA INFERIOR

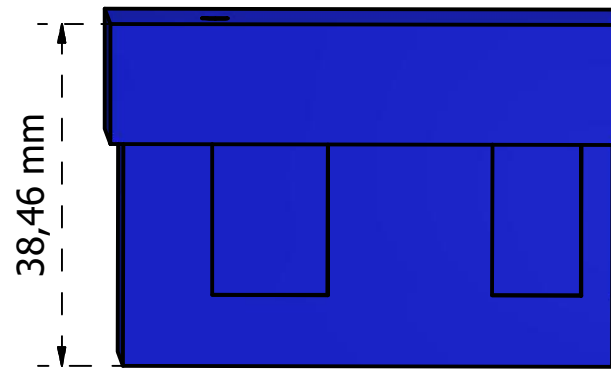


# APÉNDICE E

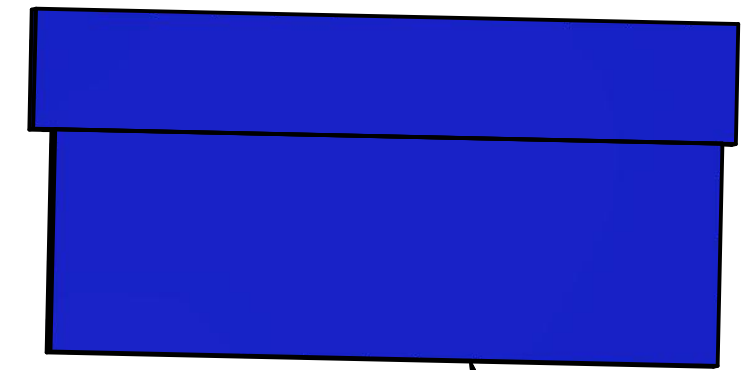
## DISPOSITIVO RECEPTOR



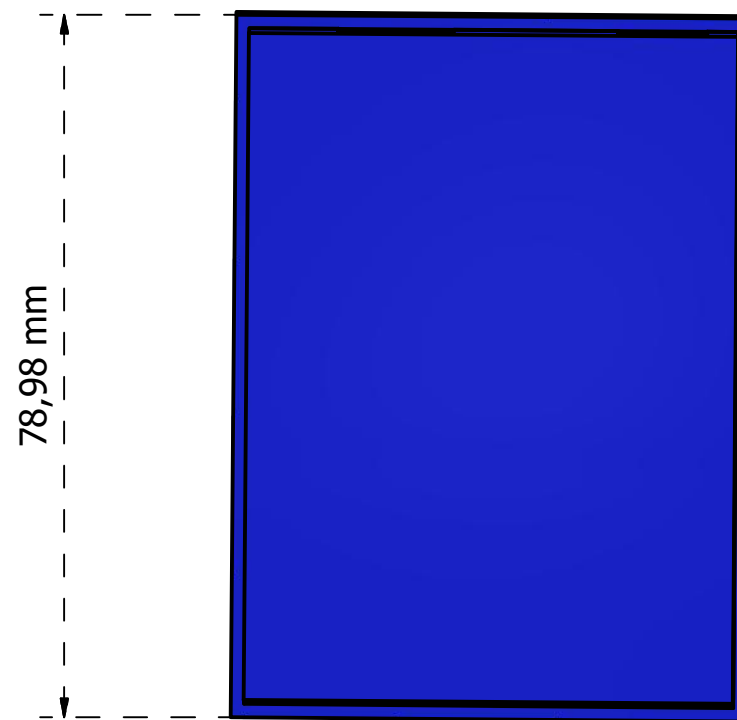
VISTA SUPERIOR



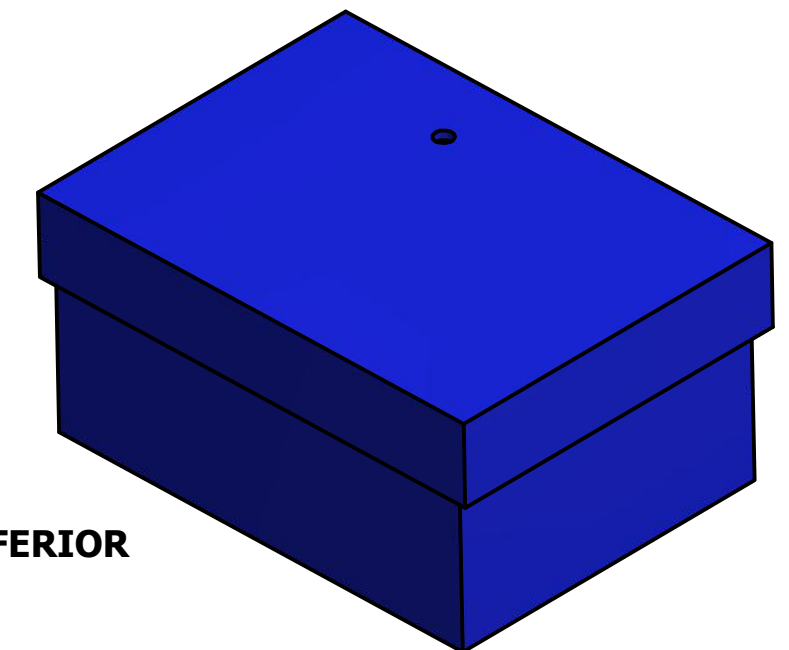
VF



VISTA LATERAL

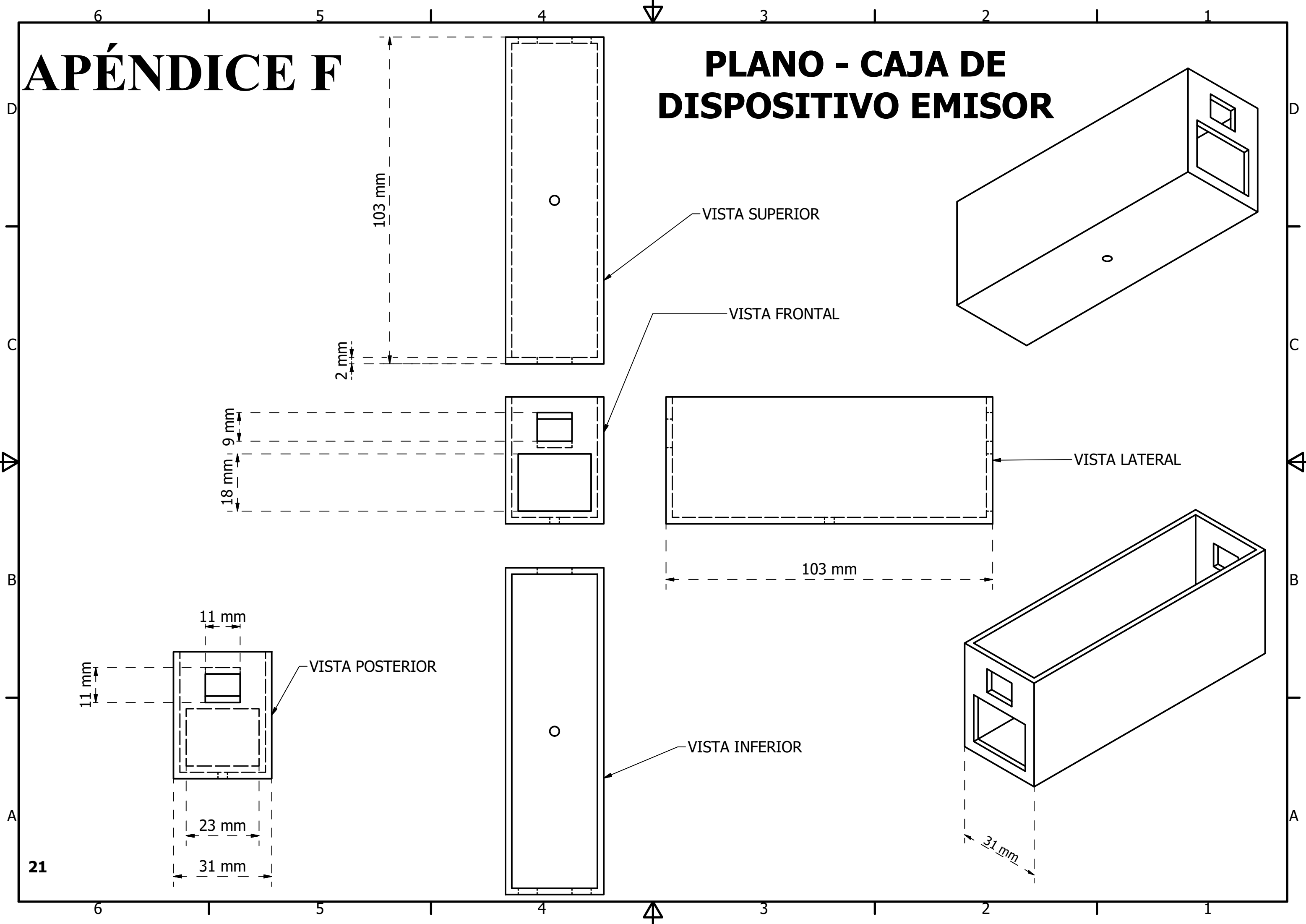


VISTA INFERIOR



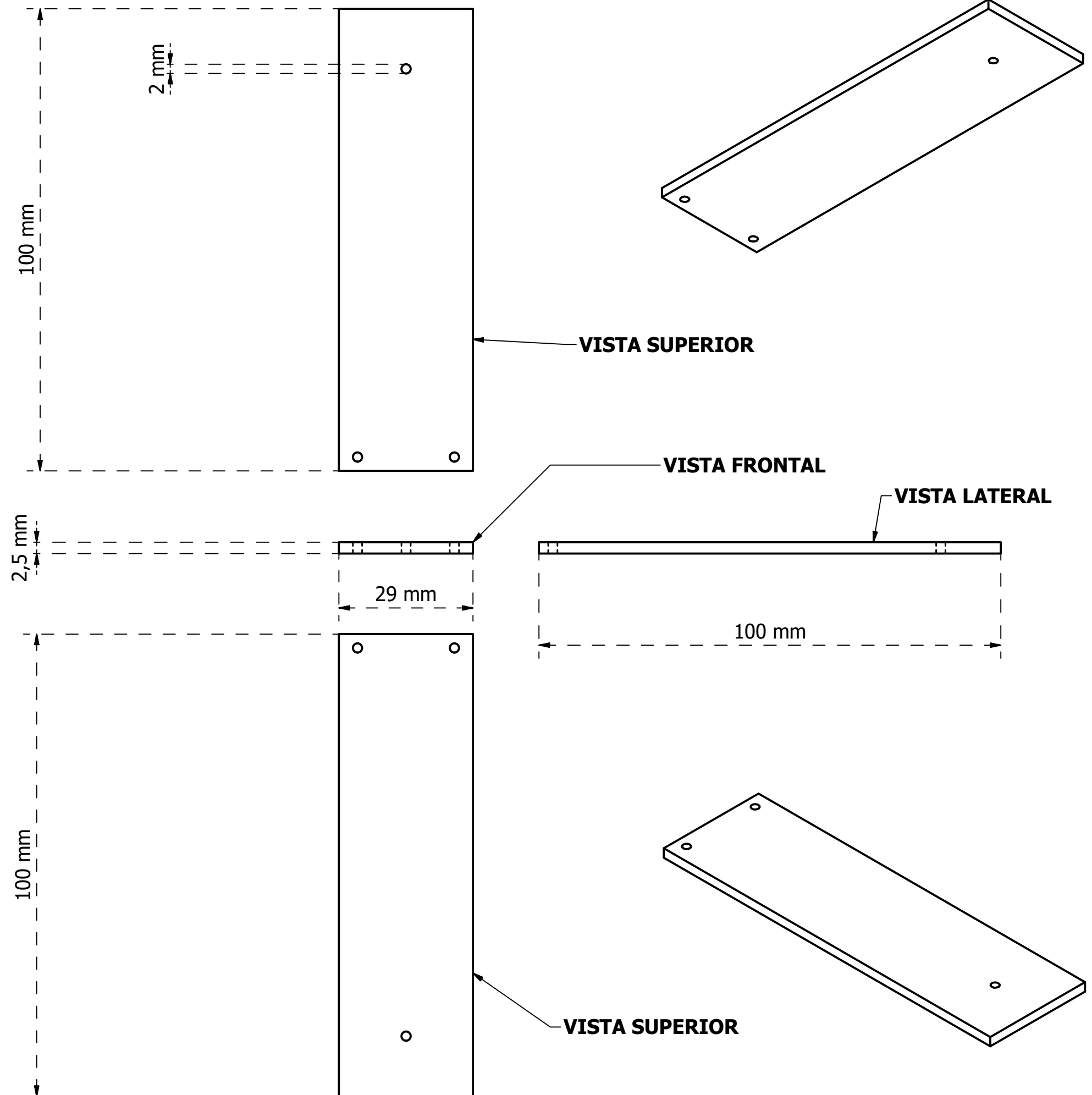
# APÉNDICE F

## PLANO - CAJA DE DISPOSITIVO EMISOR



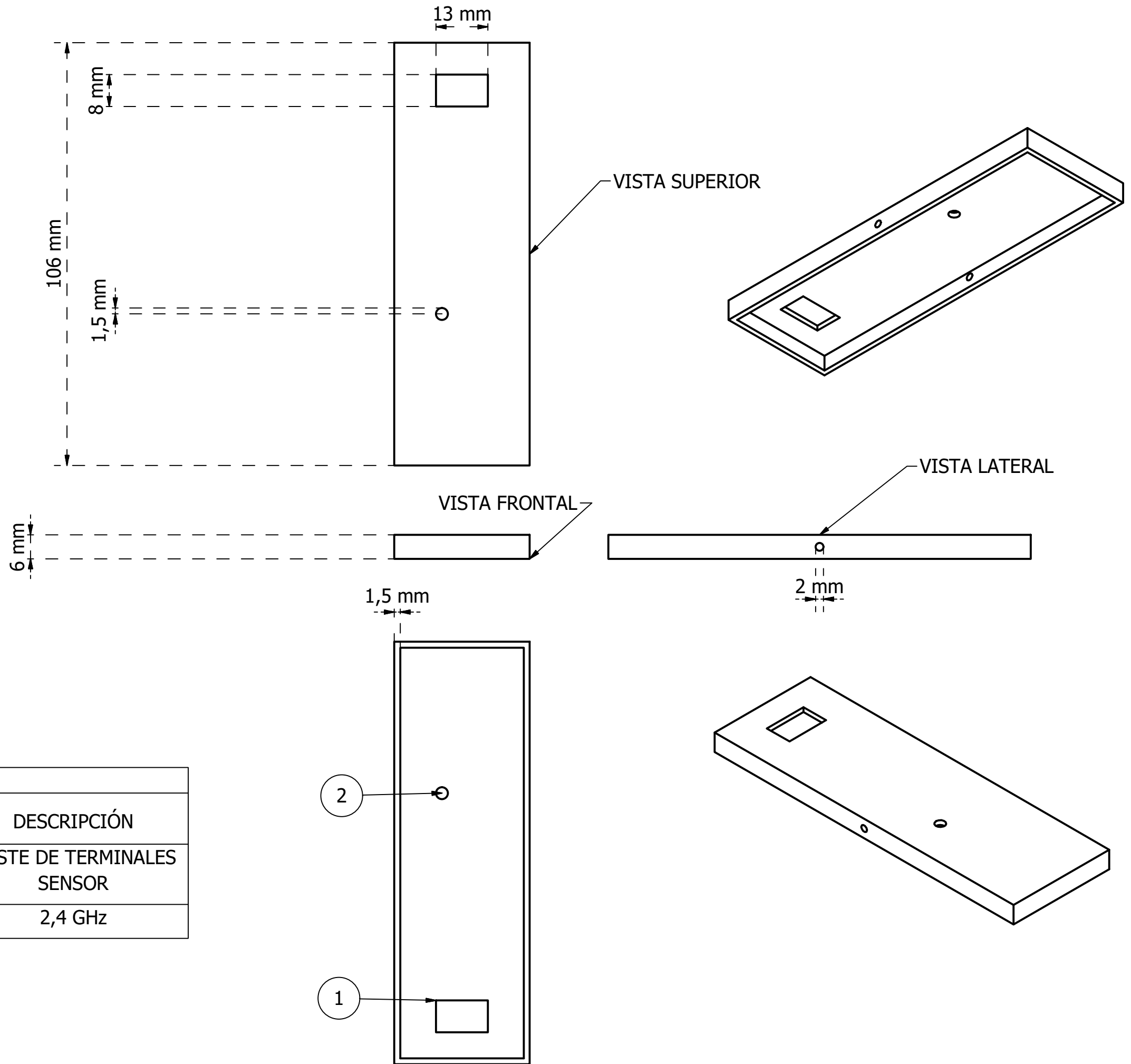
# APÉNDICE G

## PLANO - TAPA DE MONTAJE DE COMPONENTES DE DISPOSITIVO EMISOR



# APÉNDICE H

## PLANO - TAPA DE DISPOSITIVO EMISOR



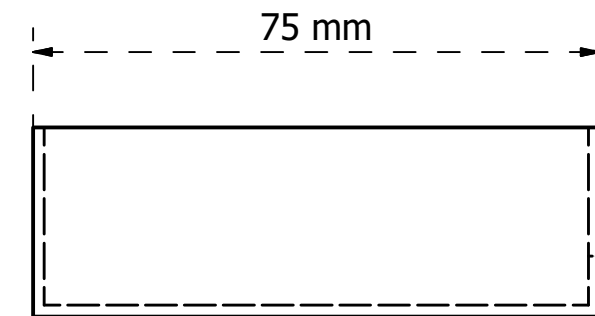
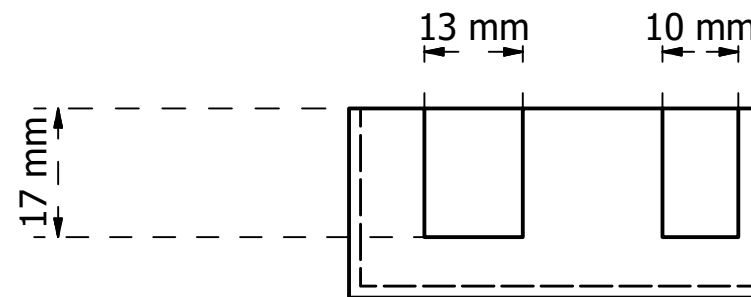
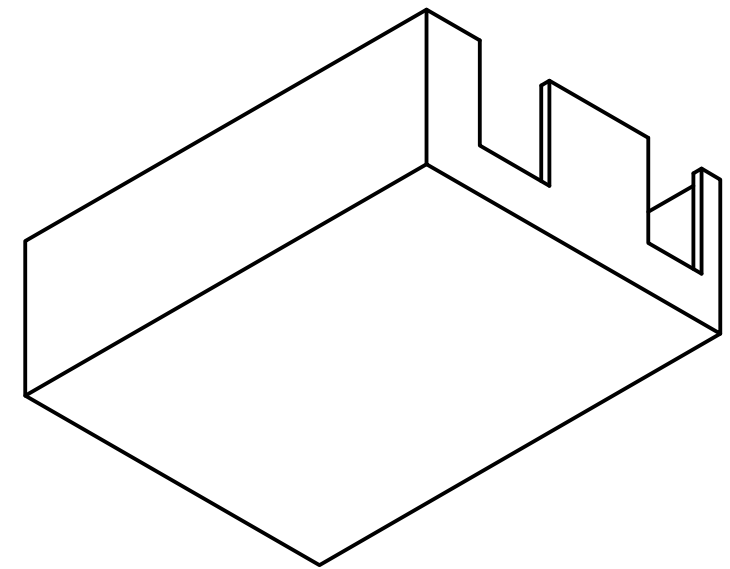
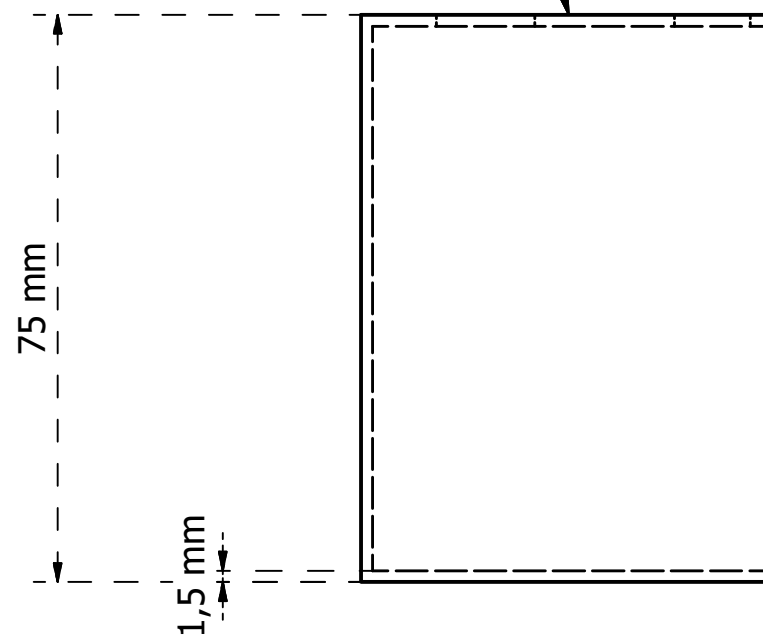
LISTA DE PIEZAS

| Nº DE PIEZA | ELEMENTO  | DESCRIPCIÓN                 |
|-------------|-----------|-----------------------------|
| 1           | TORNILLOS | AJUSTE DE TERMINALES SENSOR |
| 2           | ANTENA    | 2,4 GHz                     |

# APÉNDICE I

## PLANO - CAJA DISPOSITIVO RECEPTOR

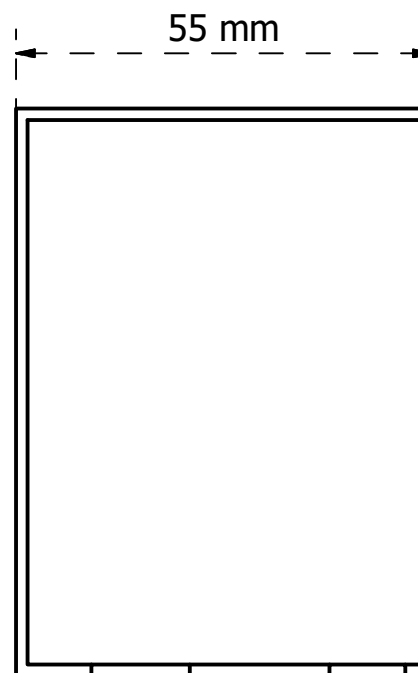
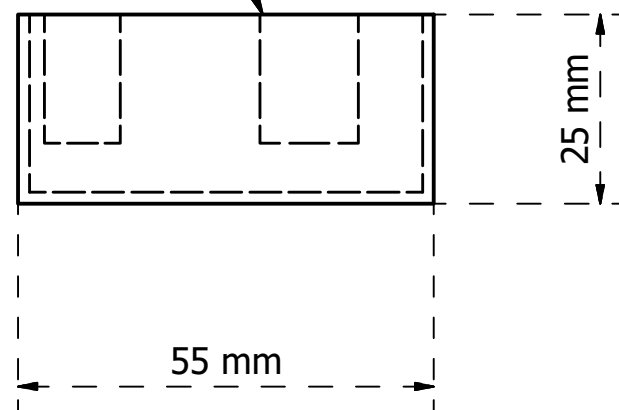
VISTA SUPERIOR



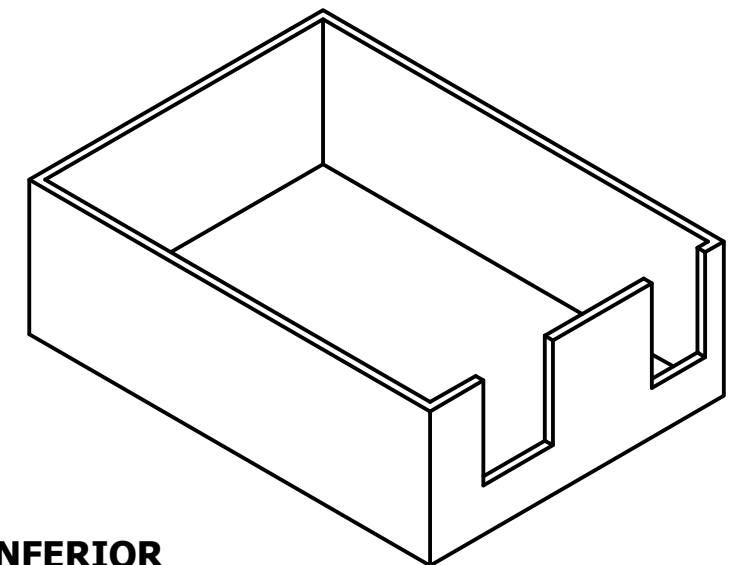
VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

VISTA POSTERIOR



VISTA INFERIOR



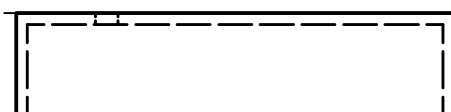
# APÉNDICE J

## PLANO - TAPA DISPOSITIVO RECEPTOR

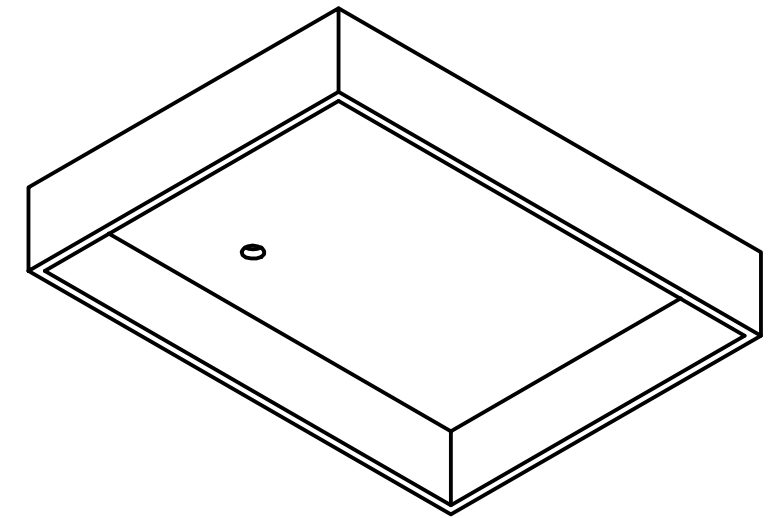
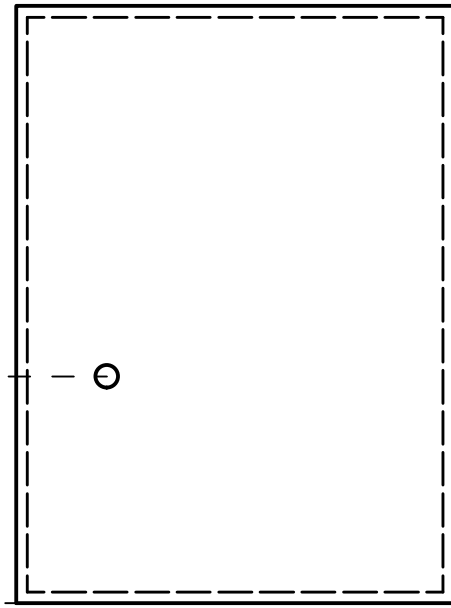
VISTA POSTERIOR



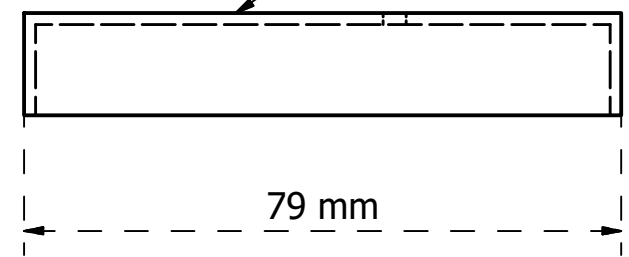
VISTA FRONTAL



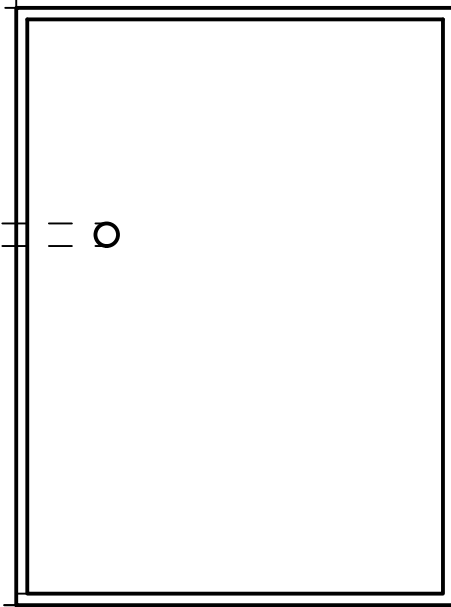
VISTA SUPERIOR



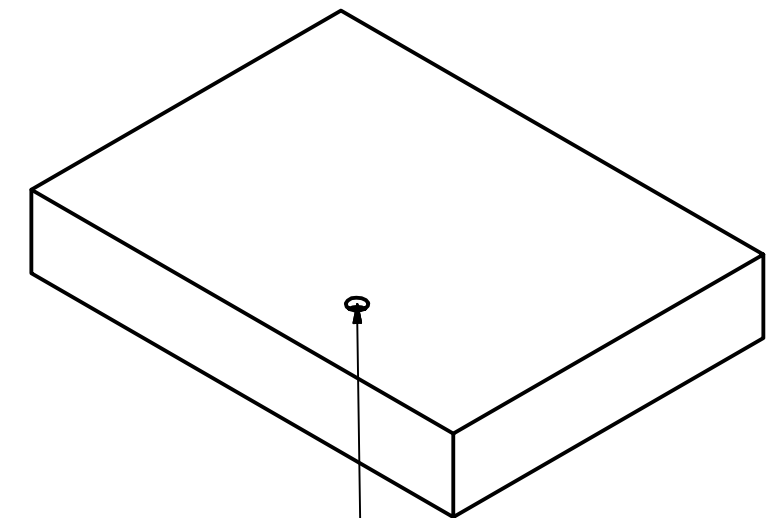
VISTA LATERAL



58 mm



VISTA INFERIOR



ANTENA 2,4 GHz

79 mm

3 mm

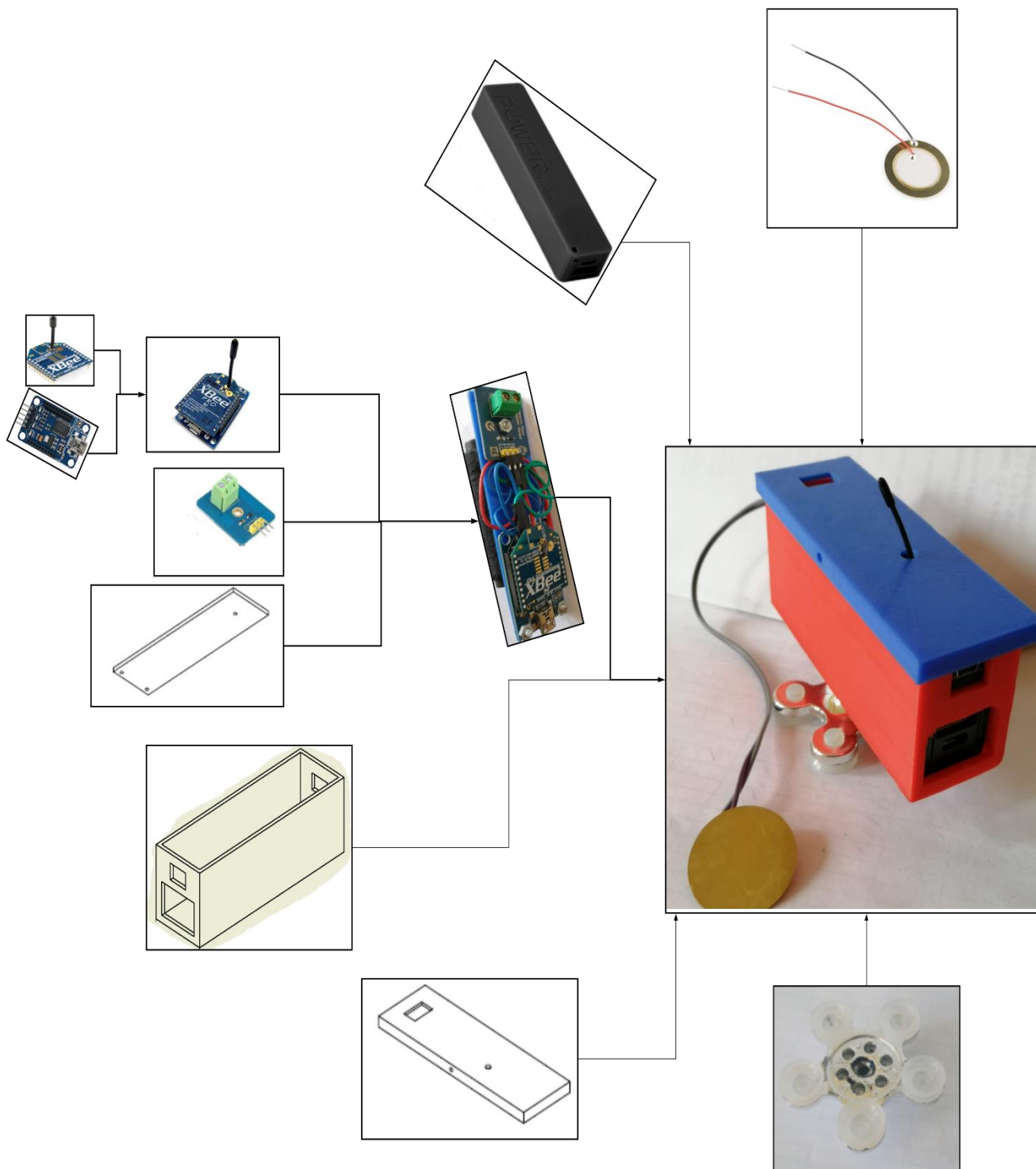
1,5 mm

30 mm

13,5 mm

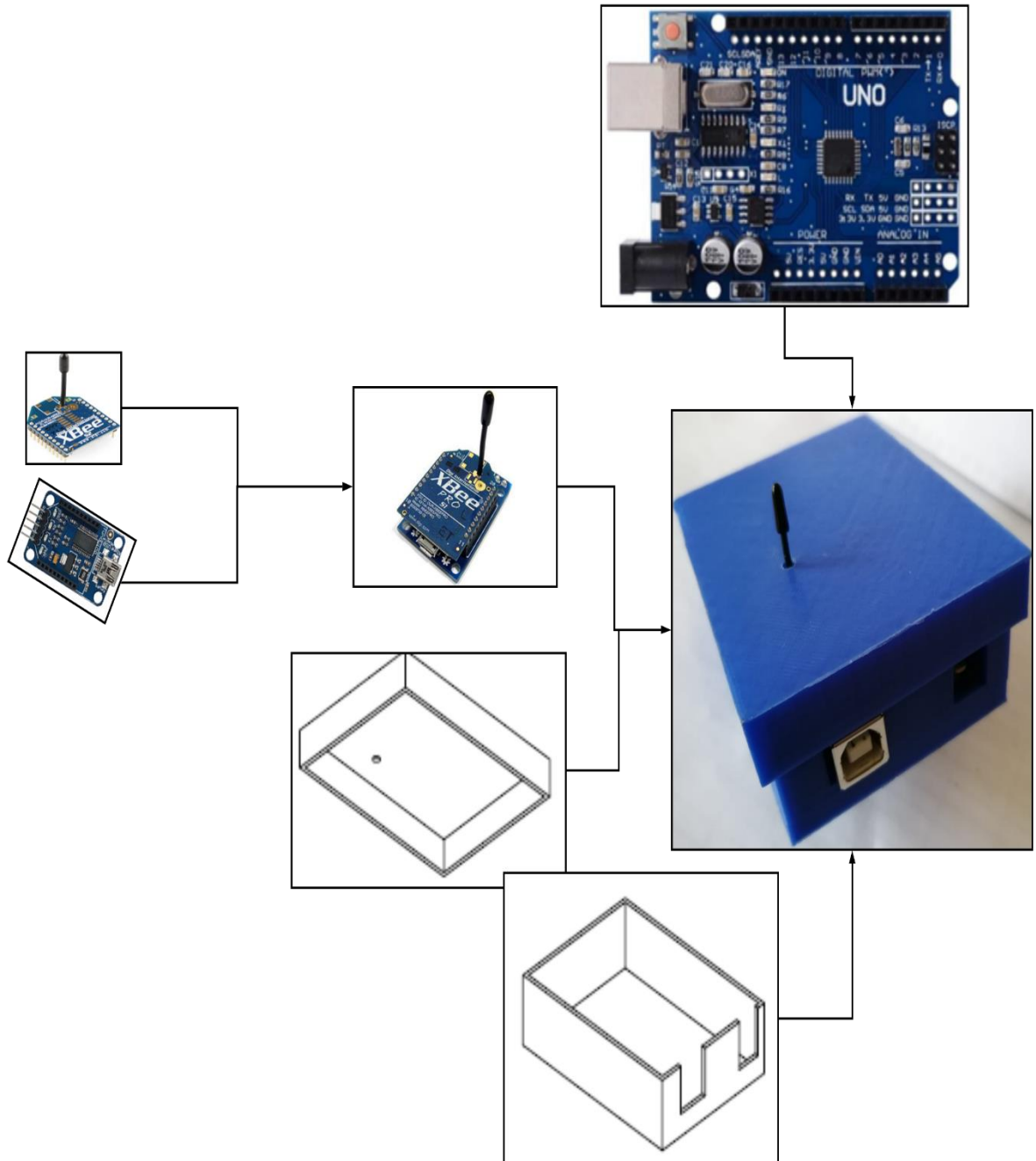
# APÉNDICE K

## ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVO EMISOR



# APÉNDICE L

## ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVO RECEPTOR



## ANEXO II - ENCUESTAS

|  |  |
|--|--|
| <b>CUESTIONARIO</b>  |  |
| <b>INTRODUCCIÓN:</b>   |  |
| La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Davmotor Cia. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN  |  |
| <b>El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:</b>  |  |
| 1. Evaluar el grado de éxito de la propuesta tecnológica.  |  |
| 2. Obtener una crítica por parte de los representantes de la empresa acerca de la propuesta tecnológica.   |  |
| En relación con el presente trabajo nos gustaría que completara el siguiente cuestionario seleccionando la opción que considere correcta, toda la información proporcionada será utilizada para resaltar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización. |  |
| <b>Nombre de la persona que responde:</b>  |  |
| <b>Cargo dentro de la organización:</b>  |  |
| Seleccione la opción que crea correcta   |  |
| <b>PREGUNTAS:</b>  |  |
| 1. ¿Como califica los procesos que actualmente existen dentro de la organización para supervisar la calidad del producto terminado?  |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 2. ¿Indique su grado de satisfacción por mantener el proceso actual de supervisión?  |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 3. Actualmente el proceso de supervisión de calidad se lo realiza a partir de la percepción humana, ¿Indique su grado de confianza en este medio de supervisión?   |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 4. ¿Qué tan importante considera que es realizar un proceso automatizado de calidad?   |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 5. ¿Cómo califica el sistema de medición propuesto para supervisión de calidad del producto terminado?   |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 6. ¿Como califica al nuevo informe, generado a partir de las mediciones tomadas con la propuesta tecnológica?  |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| 7. ¿Cómo valora en general el trabajo presentado por los Autores?  |  |
| MUY BUENO <input type="checkbox"/> BUENO <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/> MUY MALO <input type="checkbox"/>   |  |
| <b>Pregunta adicional</b>  |  |
| 8. ¿Cuál es su criterio acerca de la propuesta tecnológica presentada?   |  |
| _____  |  |
| _____  |  |
| _____  |  |
| _____  |  |
| <b>Nota:</b>   | La valoración cuantitativa de las preguntas corresponden a un puntaje de 5 puntos (Muy Bueno), 4 puntos (Bueno), 3 puntos (Regular), 2 punto (Malo) y 1 punto (Muy Malo) |

Figura II.1. Encuesta para evaluar impacto de la propuesta sobre el proceso de calidad

# CUESTIONARIO

## INTRODUCCIÓN:

La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Davmotor Cia. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA

El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:

1. Evaluar el grado de éxito de la propuesta tecnológica.
2. Obtener una crítica por parte de los representantes de la empresa acerca de la propuesta tecnológica.

En relación con el presente trabajo nos gustaría que completara el siguiente cuestionario seleccionando la opción que considere correcta, toda la información proporcionada será utilizado para resaltar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización.

Nombre de la persona que responde: Deibic Romero

Cargo dentro de la organización: Supervisor Control de Calidad

Seleccione la opción que crea correcta

### PREGUNTAS:

1. ¿Como califica los procesos que actualmente existen dentro de la organización para supervisar la calidad del producto terminado?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
2. ¿Indique su grado de satisfacción por mantener el proceso actual de supervisión?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
3. Actualmente el proceso de supervisión de calidad se lo realiza a partir de la percepción humana. ¿Indique su grado de confianza en este medio de supervisión?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
4. ¿Qué tan importante considera que es realizar un proceso automatizado de calidad?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
5. ¿Cómo califica el sistema de medición propuesto para supervisión de calidad del producto terminado?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
6. ¿Como califica el nuevo informe, generado a partir de las mediciones tomadas con la propuesta tecnológica?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
7. ¿Cómo valora en general el trabajo presentado por los Autores?  
 MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO

#### Pregunta adicional

8. ¿Cuál es su criterio acerca de la propuesta tecnológica presentada?  
Considero que el proyecto presentado es muy útil ya que nos permite tener una trazabilidad más exacta en el control de calidad



Note: La calificación cuantitativa de las preguntas correspondientes a la escala de Likert es: 5 puntos (Muy Buena), 4 puntos (Buena), 3 puntos (Regular), 2 puntos (Mala) y 1 punto (Muy Mala)

Figura II.2. Encuesta llena por el Supervisor de calidad.

# CUESTIONARIO

## INTRODUCCIÓN:

La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Davmotor Cia. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA

El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:

1. Evaluar el grado de éxito de la propuesta tecnológica.
2. Obtener una crítica por parte de los representantes de la empresa acerca de la propuesta tecnológica.

En relación con el presente trabajo nos gustaría que completara el siguiente cuestionario seleccionando la opción que considere correcta, toda la información proporcionada será utilizada para resaltar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización.

Nombre de la persona que responde: Ing. Jaime Cifuentes  
Cargo dentro de la organización: Supervisor de planta.

Seleccione la opción que crea correcta  
**PREGUNTAS:**

1. ¿Como califica los procesos que actualmente existen dentro de la organización para supervisar la calidad del producto terminado?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
2. ¿Indique su grado de satisfacción por mantener el proceso actual de supervisión?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
3. Actualmente el proceso de supervisión de calidad se lo realiza a partir de la percepción humana, ¿Indique su grado de confianza en este medio de supervisión?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
4. ¿Qué tan importante considera que es realizar un proceso automatizado de calidad?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
5. ¿Cómo califica el sistema de medición propuesto para supervisión de calidad del producto terminado?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
6. ¿Como califica al nuevo informe, generado a partir de las mediciones tomadas con la propuesta tecnológica?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
7. ¿Cómo valora en general el trabajo presentado por los Autores?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO

**Pregunta adicional**  
8. ¿Cuál es su criterio acerca de la propuesta tecnológica presentada?  
Es un estudio tecnológico nuevo. Se recomienda continuar con la ampliación y estudio de futuros proyectos.



**Nota:** La información consultada de las preguntas corresponden a un puntaje de 5 puntos (Muy Buena), 4 puntos (Buena), 3 puntos (Regular), 2 punto (Mala) y 1 punto (Muy Mala)

Figura II.3. Encuesta llena por el Supervisor de planta.

**CUESTIONARIO**

**INTRODUCCIÓN:**

La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Davmotor Cía. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA

El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:

1. Evaluar el grado de éxito de la propuesta tecnológica.
2. Obtener una crítica por parte de los representantes de la empresa acerca de la propuesta tecnológica.

En relación con el presente trabajo nos gustaría que completemos el siguiente cuestionario seleccionando la opción que considere correcta, toda la información proporcionada será utilizada para evaluar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización.

Nombre de la persona que responde: Diana Jimenez

Cargo dentro de la organización: Maestra de Acabados fase I

Seleccione la opción que crea correcta

**PREGUNTAS:**

1. ¿Cómo califican los procesos que actualmente existen dentro de la organización para supervisar la calidad del producto terminado?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
2. ¿Indique su grado de satisfacción por mantener el proceso actual de supervisión?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
3. Actualmente el proceso de supervisión de calidad se lo realiza a partir de la percepción humana, ¿indique su grado de confianza en este medio de supervisión?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
4. ¿Qué tan importante considera que es realizar un proceso automatizado de calidad?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
5. ¿Cómo califica el sistema de medición propuesta para supervisión de calidad del producto terminado?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
6. ¿Cómo califica al nuevo Informe, generado a partir de las mediciones tomadas con la propuesta tecnológica?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
7. ¿Cómo valora en general el trabajo presentado por los Autores?  
MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO

**Pregunta adicional**

8. ¿Cuál es su criterio acerca de la propuesta tecnológica presentada?  
El sistema permite identificar fallas en el sellado de una manera más confiable



**Nota:** La valoración cualitativa de las preguntas corresponden a un punto (Muy Buena), 4 puntos (Buena), 3 puntos (Regular), 2 punto (Malo) y 1 punto (Muy Malo)

**Figura II.4** Encuesta llena por la Coordinadora del S.G.I.

**CUESTIONARIO**

**INTRODUCCIÓN:**

La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Dymotor Cía. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA

El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:

1. Evaluar el grado de éxito de la propuesta tecnológica.
2. Obtener una crítica por parte de los representantes de la empresa acerca de la propuesta tecnológica.

En relación con el presente trabajo nos gustaría que completes el siguiente cuestionario seleccionando la opción que considere correcta, toda la información proporcionada será utilizada para resaltar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización.

Nombre de la persona que responde: Gabriela Guatasaca

Cargo dentro de la organización: COORDINADORA DEL S.G.T.

Seleccione la opción que crea correcta

**PREGUNTAS:**

1. ¿Cómo califica los procesos que actualmente existen dentro de la organización para supervisar la calidad del producto terminado?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
2. ¿Indique su grado de satisfacción por mantener el proceso actual de supervisión?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
3. Actualmente el proceso de supervisión de calidad se lo realiza a partir de la percepción humana, ¿Indique su grado de confianza en este medio de supervisión?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
4. ¿Qué tan importante considera que es realizar un proceso automatizado de calidad?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
5. ¿Cómo califica el sistema de medición propuesto para supervisión de calidad del producto terminado?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
6. ¿Cómo califica el nuevo informe, generado a partir de las mediciones tomadas con la propuesta tecnológica?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO
7. ¿Cómo valora en general el trabajo presentado por los Autores?
 

MUY BUENO  BUENO  REGULAR  MALO  MUY MALO

**Pregunta adicional**


8. ¿Cuál es su criterio acerca de la propuesta tecnológica presentada?  
Es un proyecto coherente que contribuye con el  
mejoramiento continuo de la empresa.

  
 DOCUMENTO EXTERNO

**Nota:** La valoración cuantitativa de las preguntas corresponden a un puntaje de 5 puntos (Muy Bueno), 4 puntos (Bueno), 3 puntos (Regular), 2 punto (Malo) y 1 punto (Muy Malo)

**Figura II.5.** Encuesta llena por el Maestro de acabados fase 1.



|  |                                |  |   |
|--|--------------------------------|--|---|
| <b>ENCUESTA</b>  |                                |  |   |
| <b>INTRODUCCIÓN:</b>   |                                |  |   |
| La presente encuesta es llevada en conjunto con la Empresa Davmotor Cia. Ltda. Y los autores del tema de titulación "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA DAVMOTOR  |                                |  |   |
| <b>El objetivo de la presente encuesta tiene que ver con:</b>  |                                |  |   |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">1. Determinar las partes del autobús que ocasionan mayor problema por reajustes y sellado.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">2. Obtener información directamente del Supervisor de Calidad y así generar confiabilidad de los datos extraídos.</td> </tr> </table> |                                | 1. Determinar las partes del autobús que ocasionan mayor problema por reajustes y sellado. | 2. Obtener información directamente del Supervisor de Calidad y así generar confiabilidad de los datos extraídos. |
| 1. Determinar las partes del autobús que ocasionan mayor problema por reajustes y sellado.   |                                |  |   |
| 2. Obtener información directamente del Supervisor de Calidad y así generar confiabilidad de los datos extraídos.  |                                |  |   |
| Toda la información proporcionada será utilizada para resaltar el impacto que a generado la propuesta dentro de la organización.   |                                |  |   |
| <b>Nombre de la persona que responde:</b>  | Deibiz Rueda.                  |  |   |
| <b>Cargo dentro de la organización:</b>  | Supervisor Control de Calidad. |  |   |
| Detalle:   |                                |  |   |
| <b>PREGUNTA:</b>   |                                |  |   |
| <p>1. Usted como persona encargada del proceso de evaluación y control interno de calidad del producto terminado en la empresa DavMotor Cia. Ltda. Y en base a su experiencia ¿Cuáles son las partes del producto terminado que usted considera que ocasionan mayor problema por un mal ajuste y sellado ?</p>   |                                |  |   |
| <p>Cajuelas</p> <hr/> <p>Puertas</p> <hr/> <p>Tablero</p> <hr/> <p>Vidrios</p> <hr/> <p>Canastillas.</p> <hr/> <p>Consola</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>  |                                |  |   |
|    |                                |  |   |

**Figura II.7.** Encuesta llena por supervisor de calidad (puntos de medición a tomar en cuenta).

## ANEXO III

### PLANTILLA AUTOMÁTICA DE EXCEL



# DASHBOARD

EL PRESENTE DOCUMENTO (PLANTILLA) PERMITE GENERAR UN INFORME, MEDIANTE LA COMPILACION DE DATOS GENERADOS POR EL SISTEMA ANALIZADOR DE VIBRACIONES, A CONTINUACION SE DETALLA LOS PASOS A SEGUIR PARA LA CORRECTA UTILIZACION.

**INSTRUCCIONES:**

1. INSERTAR LOS DATOS DE VALOR EN LAS TABLAS DE RECEPCIÓN DE DATOS.
2. OBSERVAR LOS GRAFICOS DE CONTROL.
3. OBSERVAR EL INFORME, DE SER PERTINENTE ESCRIBIR UN ANALISIS DE LOS VALORES.
4. IMPRIMIR EL DOCUMENTO.

**FUNCIONAMIENTO:**

1. La plantilla recepta los datos.
2. Se analizan los datos, determinando un prom por cada 100 datos.
3. Se visualizan los valores en una grafica de dispersión.
4. Se genera un informe donde se evidencia el valor maximo de los puntos de medicion y su calificación.

Nota: Se debe interpretar los datos de acuerdo a las reglas establecidas, a demas, se detalla algunas recomendaciones en caso de que la medicion se encuentre dentro de un rango del 70% al 80%, se establecio un factor de seguridad inferior al limite de co ntrol del 20% que los valores mayores al 80% son consideran en mal estado.

Figura III.1. Índice de la plantilla Das-hboard.

| INGRESE LOS DATOS:           |          |                     |          |                     |          |              |          |                           |          |                   |          |                   |          |
|------------------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|--------------|----------|---------------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| TABLA DE RECEPCIÓN DE DATOS. |          |                     |          |                     |          |              |          |                           |          |                   |          |                   |          |
| Cajuelas                     |          | Puerta De la cabina |          | Vidrio De la Cabina |          | Canastillas. |          | Parte Delantera (Tablero) |          | Puerta del chofer |          | Puerta de entrada |          |
| SENSOR 1                     | SENSOR 2 | SENSOR 1            | SENSOR 2 | SENSOR 1            | SENSOR 2 | SENSOR 1     | SENSOR 2 | SENSOR 1                  | SENSOR 2 | SENSOR 1          | SENSOR 2 | SENSOR 1          | SENSOR 2 |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 0                   | 4        | 38           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 36                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 36                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 36                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 36                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 87                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 6        | 87                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 0        | 87                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 0        | 87                  | 4        | 41           | 7        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 0        | 87                  | 4        | 4            | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 0        | 36                  | 4        | 0            | 5        | 0                         | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 40                  | 0        | 36                  | 4        | 40           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 40           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 40           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 0                            | 0        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 40           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 40                           | 0        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 39           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 40                           | 0        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 39           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 40                           | 6        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 39           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 40                           | 6        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 39           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |
| 39                           | 6        | 0                   | 0        | 36                  | 2        | 41           | 5        | 39                        | 9        |                   |          |                   |          |

Figura III.2. Recepción de datos de la plantilla Dashboard. .

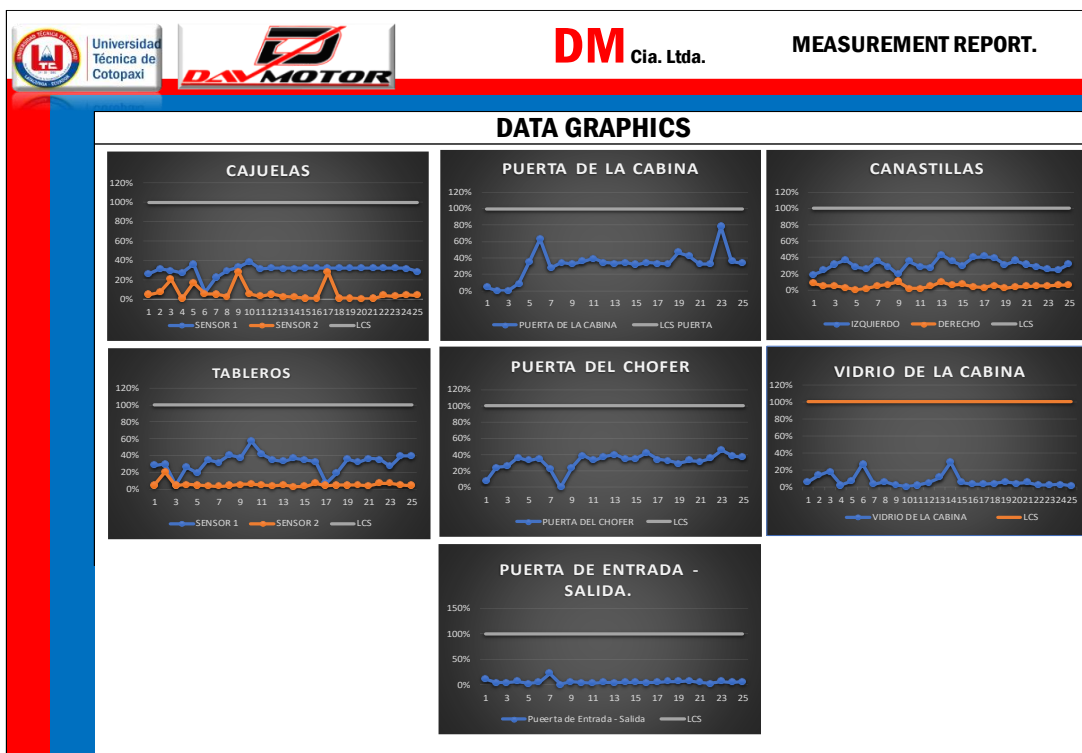


Figura III.3. Plantilla de Gráficos de dispersión.

**RESPONSABLE:** Deibie Paredes      **FECHA:** 21/1/2020      **OP:** 2519

| CAJUELAS. |        |       |          |
|-----------|--------|-------|----------|
| SENSOR    | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1         | 39%    | 30%   | ✓        |
| 2         | 29%    | 6%    | ✓        |

| CANASTILLAS |        |       |          |
|-------------|--------|-------|----------|
| SENSOR      | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1           | 44%    | 31%   | ✓        |
| 2           | 10%    | 5%    | ✓        |

| PUERTA DE LA CABINA |        |       |          |
|---------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR              | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1                   | 78%    | 33%   | ●        |

| VIDRIO DE LA CABINA. |        |       |          |
|----------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR               | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 2                    | 29%    | 7%    | ✓        |

| TABLEROS |        |       |          |
|----------|--------|-------|----------|
| SENSOR   | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1        | 57%    | 32%   | ✓        |
| 2        | 21%    | 6%    | ✓        |

| PUERTA DEL CHOFER |        |       |          |
|-------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR            | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 1                 | 46%    | 32%   | ✓        |

| PUERTA DE ENTRADA - SALIDA. |        |       |          |
|-----------------------------|--------|-------|----------|
| SENSOR                      | MÁXIMO | MÉDIO | APROBADO |
| 2                           | 23%    | 6%    | ✓        |

**OBSERVACIONES**

La carrocería analizada se encuentra dentro de los límites de control establecidos, es decir, muestra medidas positivas que se ha comprobado mediante un sistema de medición, en esta situación la carrocería aprueba el control interno de la empresa, recomendando un reajuste o revisión en la puerta delantera de acceso a la unidad antes de ser entregada al cliente.

Figura III.4. Plantilla de Informe generado a partir de los datos.



| REGLAS |   |              |
|--------|---|--------------|
| N°     | Descripción   | Probabilidad |
| 1      | Describe que el punto de medición esta en buen estado.  | 0 AL 69%     |
| 2      | es considerado como una rango medio donde sus posibles causas puedan ser solucionadas de una forma inmediata.   | 70% AL 80%   |
| 3      | Para este caso se considera al punto de medición como "MAL ESTADO" y de carácter urgente que deberá ser solucionado ya que esta cerca del LCS o en su defecto | MAYOR AL 80% |

| INDICADORES |   |
|-------------|---|
| SIMBOLO     | DESCRIPCIÓN   |
| ✓           | Representación grafica, que afirma el buen estado del punto de medición y su aprobación de la prueba.   |
| ✗           | Representación grafica, que afirma el mal estado del punto de medición y su no aprobación de la prueba. |
| ●           | Representación grafica que indica que el punto de medición posee un ligero desajuste.                   |

| TABLA DE RECOMENDACIÓN PARA UN RANGO MAYOR A 70%   |  |
|--|--|
| En caso de encontrar valores mayores al 70% en el informe de resultados (recomendado entre 70% y 80 %) se sugiere el uso de una medida correctiva inmediata, con el fin de realizar un breve ajuste para la realización de otro test inmediatamente, esto permite reducir tiempos de reajuste. Si luego de esto se evidencia nuevamente los mismos valores la unidad debe ser remitida a reajuste. |  |
| PUNTO  | MEDIDA CORRECTIVA INMEDIATA  |
| Canastillas  | Revisar presencia de herramientas o materiales olvidados en maleteros (provocan golpes y vibraciones mas fuertes)  |
| Bodega   | Revisar presencia de herramientas o materiales olvidados en bodega (provocan golpes y vibraciones mas fuertes)   |
| Puerta de entrada/salida del bus y cabina  | Revisar condiciones neumáticas del booster de puerta respectivamente   |
| Puerta chofer  | Revisar tablero de instrumentos y constatar que la puerta esté cerrada correctamente. Abra y cierre la puerta nuevamente.  |
| Tablero  | Revise que las tapas estén correctamente cerradas, además revise el sistema de sujeción de tapas (roscas). Abra y vuelva a cerrar las tapas del tablero.   |
| Ventana intermedia y laterales de cabina   | A criterio del operador responsable de la prueba de control de sellado y ajuste queda la opción de realizar otra prueba y constatar el error o emitir a revisión de ajuste y sellado de ventanas respectivamente |

Figura III.5. Reglas y Recomendaciones para el sistema de medición.

## ANEXO IV


### DISEÑO DE PRUEBA DE MONITOREO Y REGISTRO DE DATOS DE VIBRACIÓN PARA EL CONTROL DE SELLADO Y AJUSTE EN EL BUS INTERPROVINCIAL DE LA EMPRESA DavMotor Cía. Ltda.

#### Etapa inicial

##### Puntos de medición

En esta etapa se contempla la elección de los puntos estratégicos en los cuales se tomarán las medidas de vibraciones para el control de sellado y ajuste en el bus interprovincial, para esto se realizó una encuesta al supervisor de calidad de DavMotor Cía. Ltda., Figura II.7. en donde se obtiene el detalle de los puntos y partes que presentan mayor problema y quejas, de esta manera se obtuvo la Tabla IV.1. en donde se determinan los puntos que serán sometidos a las mediciones en la prueba de ruta del bus interprovincial.

**Tabla IV.1.** Descripción de puntos estratégicos de medición de vibraciones

| Punto de Medición | Breve Descripción   | Figura  |
|-------------------|---|---|
| Maleteros         | El incorrecto ajuste de estos elementos provoca ruidos incómodos para los usuarios (pasajeros) de la unidad. Se colocará el sensor determinando un punto fijo en donde exista adherencia de los imanes con el respectivo maletero, es recomendable ubicar en partes cercanas a fuentes de vibración (motor, eje de transmisión, llantas). |  |

## Bodega

El incorrecto ajuste de bodega influye en sonidos molestos para todos los ocupantes del bus, el ruido aumenta cuando esta está vacía. Es recomendable ubicar los sensores en tapas de forrado de bodega y no en la estructura, los imanes se adhieren fácilmente en esta parte del bus interprovincial.



## Tablero

El mal ajuste de este elemento provoca daños en elementos que lo componen, provocando desencajamiento de componentes como el panel de instrumentos y panel de interruptores; al igual que la generación de ruidos molestos para el chófer y ocupantes de cabina del autobús. El sensor irá ubicado siempre fuera de las tapas, los imanes sostendrán la sonda piezoeléctrica ubicándolos en las dos caras de la tapa o tablero respectivamente.



Ventanas laterales

El mal sellado de estas ventanas provoca ruidos molestos para los ocupantes, además provoca mayor gasto de energía (reducción de potencia del motor) por fugas de aire cuando la climatización de la unidad está encendida. La medición en estos puntos se realizará en ventanas laterales de cabinas. La ubicación del sensor será usando los imanes en ambas caras de la ventana en cuestión.



Ventana Posterior

El mal sellado de la ventana posterior del chofer (ventana separadora de cabina y pasajeros) provoca molestia por ruidos en pasajeros, al igual que puede ocasionar discomfort térmico (en ambientes fríos) por el ingreso de aire hacia el compartimiento de pasajeros desde cabina a través de esta ventana. Además existe mayor gasto de energía (reducción de potencia del motor) por fugas de aire cuando la climatización de la unidad está encendida.



Puerta Posterior

La puerta que permite la salida desde el compartimiento de pasajeros hacia cabina debe estar correctamente ajustada para evitar ruidos molestos, es importante recordar que esta puerta tiene características de aislamiento térmico y sonoro.



## Manipulación de datos

Para realizar el monitoreo, registro y análisis de datos se utilizaron diferentes modelos y métodos estadísticos. La Figura V.1. detalla el proceso seguido para la determinación de los datos utilizados en la prueba.

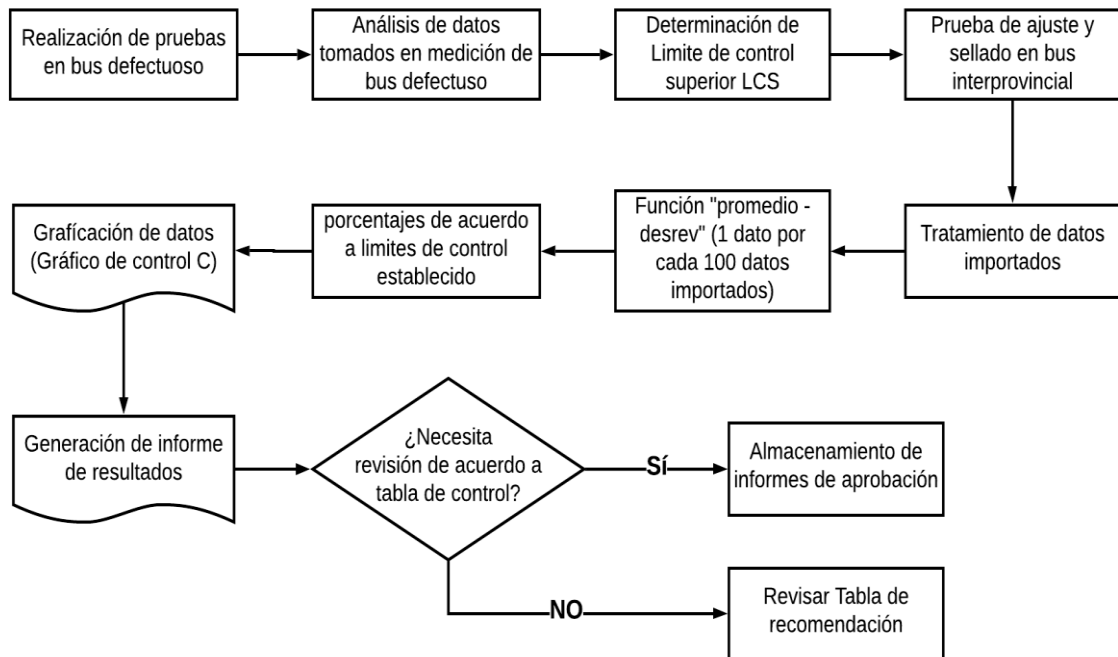


Figura IV.I. Proceso de manipulación de datos de vibración

Tabla IV.2. Detalle de proceso de manipulación de datos de vibración

| N° | ACTIVIDAD.   | TAREA.  |
|----|--|---|
| 1. | <b>Realización de pruebas en bus defectuoso</b>                | Se realizó cinco mediciones para cada punto en un bus defectuoso en la misma ruta, evidenciando repetitividad y generando una base de datos.  |
| 2. | <b>Análisis de datos tomados en medición de bus defectuoso</b> | Importación de datos extraídos en cada medición para generar una base de datos, a fin de encontrar límites de control para cada punto estratégico de medición del bus interprovincial |
| 3. | <b>Determinación de Limite de control superior LCS</b>         | Utilizando la herramienta de control gráfica tipo C utilizada para el monitoreo del número de defectos se encuentra el LCS para cada punto estratégico de medición de vibraciones.    |

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 4.  | <b>Prueba de ajuste y sellado en bus interprovincial</b>                  | Realizar la prueba de control de sellado y ajuste en los puntos estratégicos del bus interprovincial durante la prueba de ruta del mismo.  |
| 5.  | <b>Tratamiento de datos importados</b>                                    | El tratamiento de datos de vibración importados desde la prueba de sellado y ajuste en el bus interprovincial hacia la plantilla de generación de informes se realiza tomando en cuenta funciones lógicas para hojas de cálculo                |
| 6.  | <b>Función "promedio - desrev" (1 dato por cada 100 datos importados)</b> | Permite establecer una condición en la cual se escogen los datos de 100 en 100 para extraer un promedio de estos y generar datos más ajustados para su posterior análisis y graficación.   |
| 7.  | <b>Dar porcentajes de acuerdo a límites de control establecido</b>        | Para dar una unidad a la gráfica de control C, se ha establecido al LCS como el 100% (para cada punto de medición en la prueba de ajuste y sellado) y todos los datos tratados con anterioridad se irán graficando en función de dicho límite. |
| 8.  | <b>Graficación de datos (Gráfico de control C)</b>                        | La plantilla grafica los datos importados y tratados con anterioridad para la generación de un documento con gráficas de control que forman parte del informe final de prueba de control de sellado y ajuste en el bus interprovincial.        |
| 9.  | <b>Generación de informe de resultados</b>                                | En base a la gráfica y datos analizados la plantilla genera un informe final de resultados en el cual se detalla la aprobación o no de acuerdo a los puntos de medición de vibraciones analizados en el bus interprovincial.                   |
| 11. | <b>Almacenamiento de informes de aprobación</b>                           | La prueba finalizó dando un resultado positivo y aprobación a la unidad interprovincial, se almacena el informe para posteriores usos.   |
| 12. | <b>Revisar Tabla de recomendación</b>                                     | Si el bus presenta defectos de acuerdo al informe es necesario revisar la tabla de recomendación ANEXO III para tomar la medida necesaria.   |

## Tiempo de prueba

Para determinar el tiempo de prueba se realizó un test durante un minuto para así contar los datos que el medidor de vibraciones toma durante ese intervalo de tiempo, el resultado arrojó un valor de 1200 datos por minuto tomado de varias pruebas realizadas durante el mismo tiempo.

Se conocen los siguientes datos para determinar el tiempo de duración de cada prueba.

Datos totales requeridos: 2500 datos (promediados de 100 en 100 para graficar 25 puntos)

Datos tomados por minuto: 1200 datos/minuto

Partiendo de estos datos se puede plantear la ecuación siguiente para determinar el tiempo de duración de cada prueba.

$$\text{Tiempo de prueba} = \frac{\text{Datos totales requeridos}}{\text{Datos tomados por minuto}} \quad (\text{IV.1})$$

Donde:

*Tiempo de prueba*: Intervalo de tiempo de prueba por cada punto de medición en carrocera de bus interprovincial analizado; (segundos/prueba)

*Datos totales requeridos*: Número total de datos necesarios para generar informe de resultados; (datos/prueba)

*Datos tomados por minuto*: Número total de datos registrados por el medidor de vibraciones durante un minuto; (datos/minuto)

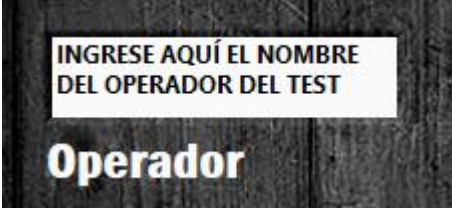

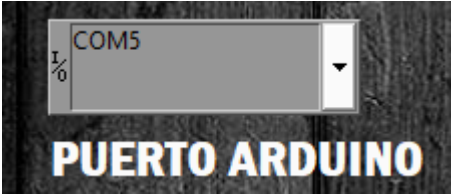

Se procede a la aplicación de la ecuación V.1. obteniendo un tiempo total de 130 segundos o 2 minutos con 10 segundos, de esta manera se garantizará el número total de datos necesarios para generar el informe de resultados.

$$\text{Tiempo de prueba} = \frac{25000 \frac{\text{datos}}{\text{prueba}}}{1200 \frac{\text{datos}}{\text{minuto}}} = 2,1 \text{ min/prueba} = 125 \text{ seg/prueba}$$

## Monitoreo

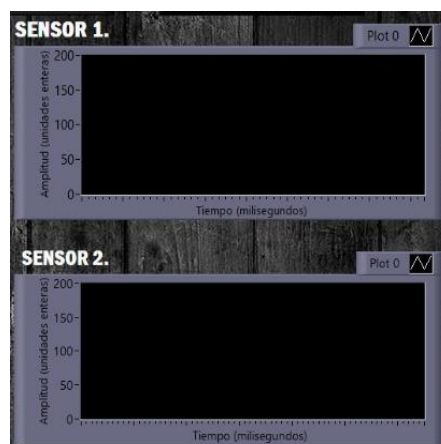
Para el monitoreo durante la prueba de sellado y ajuste se propone la realización de una plataforma visual que consta de los elementos detallados en la siguiente tabla.

**Tabla IV.3.** Descripción de plantilla de visualización

| Elemento                      | Función   | Figura   |
|-------------------------------|---|--|
| Campo “Operador”              | Al ser llenado este campo, en la hoja inicial de registro de resultados (formato .xls) se mostrará el operador responsable de la prueba   |    |
| Campo “Sensor 1” y “Sensor 2” | Sobre estos campos de texto se debe escribir el punto o lugar de medición de cada sensor, de esta manera se evitará confusiones al momento de importar datos hacia la plantilla XLS |    |
| Puerto Arduino                | Al desplegar esta opción se escoge el puerto COM al cual se conectó la CPU del medidor de vibraciones. Revisar Manual de uso.   |   |
| Campo “Valor 1” y “Valor 2”   | En este campo se escribirá el elemento o una referencia de donde se ubica el sensor número 1 y/o 2 respectivamente dentro del bus interprovincial                                   |  |

Gráfica de “Datos 1” y  
“Datos 2”

Las gráficas muestran el comportamiento de las vibraciones dentro de la medición en tiempo real, graficando en el eje x el tiempo y en el eje y la amplitud en números enteros. Las gráficas están en función de los datos enviados por sensor 1 y 2.



Botón “Stop”

Permite parar la prueba antes del tiempo establecido para la prueba (2 minutos 5 segundos), forma parte de la barra de herramientas de la aplicación usada.



Botón “Inicio”

Permite iniciar la medición una vez que se hayan ubicado y asegurado los dispositivos emisores, forma parte de la barra de herramientas de la aplicación usada.

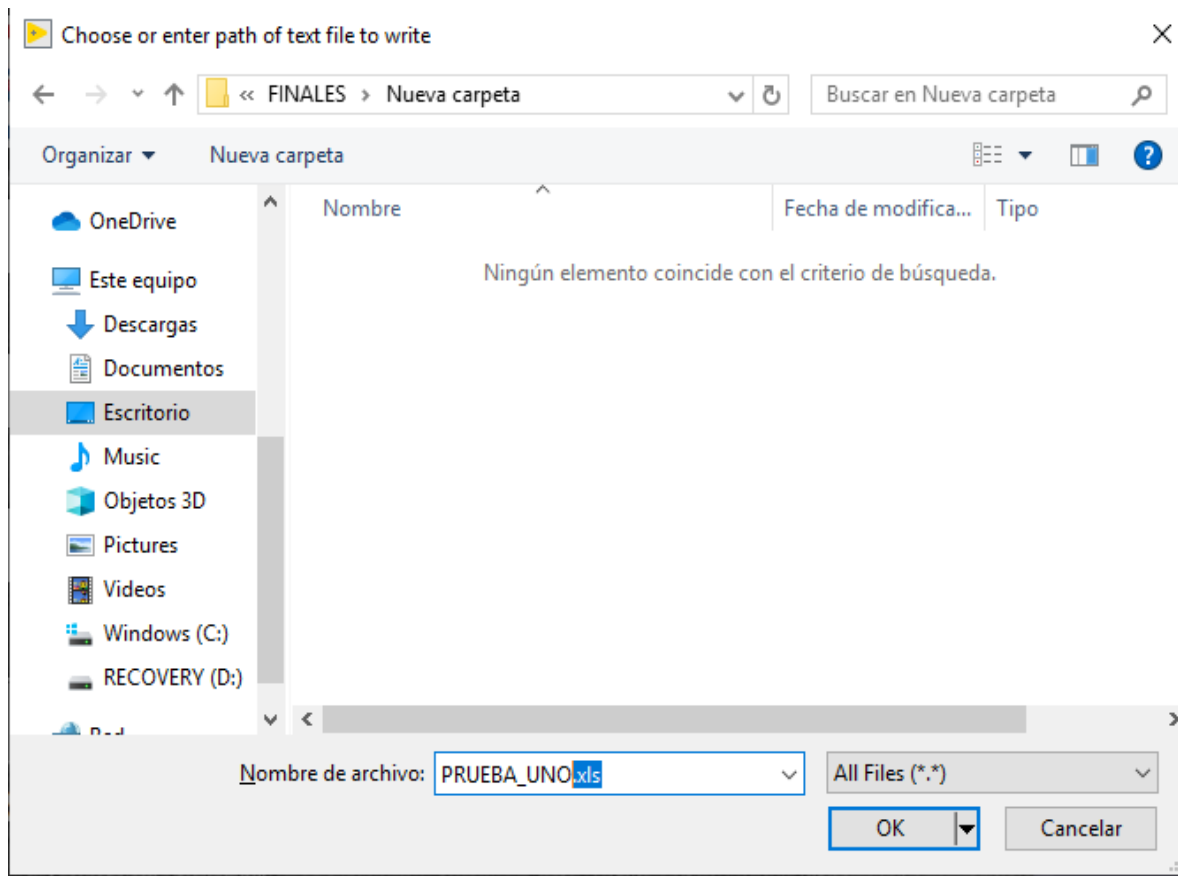


Además para empezar a realizar el monitoreo mencionado es necesario conocer el modo adecuado de uso detallado en el Anexo I en el apartado “Modos de uso”.

### Registro de datos

Es necesario aclarar que al empezar la medición el programa necesitará guardarla en una ubicación específica con un nombre determinado; para registro de datos es necesario ubicar la extensión “.xls” luego del nombre del archivo como se indica en la Figura IV.2.

El registro de datos será visualizado dentro de la ubicación en la que se haya guardado y en formato .xls, esto permitirá copiar los datos en la hoja adecuada de la matriz de análisis de datos, además será el primer paso a seguir en el Dashboard presentado en dicha matriz.



**Figura IV.2.** Ventana para guardar archivo (registro de datos “.xls”)

Es necesario aclarar que si se llenó los campos adecuadamente antes de iniciar la medición la hoja de cálculo generada por el registro de datos tendrá lleno todos sus campos de una manera entendible y coherente en el archivo .xls, en la Figura IV.3. se muestra la medición realizada sobre el tablero del bus interprovincial (tapas) y los datos de dicha medición distribuidos adecuadamente.

|    | A                               | B              | C        | D        | E         |
|----|---------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|
| 1  | UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI |                |          |          |           |
| 2  |                                 |                |          |          |           |
| 3  | DATOS DE VIBRACIONES            |                |          |          |           |
| 4  | Operador:                       | DEIBIE PAREDES |          |          |           |
| 5  | sensor 1                        | TAPA TABLERO   |          |          |           |
| 6  | sensor 2                        | TAPA 2 TABLERO |          |          |           |
| 7  | Fecha:                          | Hora:          | SENSOR 1 | SENSOR 2 | 31/1/2020 |
| 8  | 31/1/2020                       | 0:10           | 512      | 37       |           |
| 9  | 31/1/2020                       | 0:10           | 29       | 37       |           |
| 10 | 31/1/2020                       | 0:10           | 29       | 38       |           |

**Figura IV.3.** Documento obtenido del registro de datos en tablero del bus

### **Ejecución de la prueba**



En el Anexo digital V se muestra el video de la prueba realizada, el informe de resultados se muestra en la Figura III.4.



### **Dificultades encontradas**

- Limitación de sensores de vibración, el número de sensores utilizados permiten realizar la prueba realizando paradas.
- El retardo de transmisión/recepción de datos cuando la medición se realiza en bodega también resultó ser una dificultad encontrada.
- La dificultad al encontrar un medidor de vibraciones certificado para lograr realizar una comparación de valores y dar una unidad de medida calibrada al medidor de vibraciones propuesto resultó ser un gran obstáculo de la investigación.
- Protocolos y políticas internas de la empresa al momento de realizar pruebas de ruta.


## ANEXO V

### DATOS GENERALES DE PARTICIPANTES DE EQUIPO DE TRABAJO

| DATOS INFORMATIVOS PERSONAL DOCENTE (LECTOR)   |  |   |                             |
|--|--|---|-----------------------------|
| <b>Datos Personales</b>  |  |  |                             |
| <b>Apellidos:</b> Hidalgo Oñate  |  |   |                             |
| <b>Nombres:</b> Ángel Guillermo  |  |   |                             |
| <b>Estado Civil:</b> Soltero   |  |   |                             |
| <b>Cedula de ciudadanía:</b> 0503257404  |  |   |                             |
| <b>Numero de cargas Familiares:</b> 0  |  |   |                             |
| <b>Lugar y fecha de nacimiento:</b> Saquisilí, 04 de junio de 1988.  |  |   |                             |
| <b>Dirección domiciliaria:</b> Saquisilí, Barrio Mariscal Sucre Occidental   |  |   |                             |
| <b>Teléfono convencional:</b> 032721576  |  | <b>Teléfono celular:</b> 0998536700   |                             |
| <b>Email institucional:</b> <a href="mailto:angel.hidalgo@utc.edu.ec">angel.hidalgo@utc.edu.ec</a>   |  |   |                             |
| <b>Tipo de discapacidad:</b> Ninguna   |  |   |                             |
| <b># De carnet CONADIS:</b> N/A  |  |   |                             |
| ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS  |  |   |                             |
| Nivel título obtenido  | Título obtenido  | fecha de registro   | Número o código de registro |
| Tercer   | Ingeniero en Electrónica y Control                         | 2013-09-12  | 1001-13-1236705             |
| Cuarto   | Master of Science in Electrical and Electronic Engineering | 2017-02-01  | 826195058                   |
| <b>HISTORIAL PROFESIONAL:</b>  |  |   |                             |
| <b>Unidad administrativa o académica en la que labora:</b> CIYA  |  |   |                             |
| <b>Área del conocimiento en la cual se desempeña:</b> Circuitos Eléctricos, Instrumentación Industrial, Automatismos Eléctricos, PLCs y Electrónica de Potencia. |  |   |                             |
| <b>Fecha de ingreso a la UTC:</b> 10-04-2017   |  |   |                             |
| <br><b>F.</b> _____<br><b>FIRMA</b>  |  |   |                             |

| <b>DATOS PERSONALES (ESTUDIANTE)</b>   |                                 |   |
|--|---------------------------------|---|
| <b>Apellidos:</b> Villarreal Prado   |                                 |  |
| <b>Nombres:</b> Johan Fernando   |                                 |   |
| <b>Estado Civil:</b> Soltero   |                                 |   |
| <b>Cedula de ciudadanía:</b> 040163028-0   |                                 |   |
| <b>Edad:</b> 23 años   |                                 |   |
| <b>Lugar y fecha de nacimiento:</b> Tulcán 4 de enero de 1997  |                                 |   |
| <b>Dirección domiciliaria:</b> Latacunga, Avenida Sánchez de Orellana y Leopoldo Pino                            |                                 |   |
| <b>Teléfono convencional:</b> 062 236 626  |                                 | <b>Teléfono celular:</b> 0959590130   |
| <b>Email institucional:</b> <a href="mailto:johan.villarreal0280@utc.edu.ec">johan.villarreal0280@utc.edu.ec</a> |                                 |   |
| <b>FORMACIÓN ACADÉMICA</b>   |                                 |   |
| <b>Nivel</b>   | <b>Institución</b>              | <b>Periodo Académico</b>  |
| <b>Secundaria</b>  | Unidad Educativa "Bolívar"      | 2008 - 2014   |
| <b>Ingles B1</b>   | Universidad Técnica de Cotopaxi | 2016 - 2018   |
| <br><b>FIRMA</b>              |                                 |   |

**DATOS PERSONALES (ESTUDIANTE)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Apellidos:</b> Aragón Pilco                               |  |
| <b>Nombres:</b> Bryan Jair                                   |   |
| <b>Estado Civil:</b> Soltero                                 |   |
| <b>Cedula de ciudadanía:</b> 160068928-3                     |   |
| <b>Edad:</b> 24 años   |   |
| <b>Lugar y fecha de nacimiento:</b> Puyo, 1 de abril de 1995 |   |
| <b>Dirección domiciliaria:</b> Latacunga: Avenida Paraguay   |   |

**Teléfono convencional:** 032 892 083      **Teléfono celular:** 0983513332

**Email institucional:** [bryan.aragon9283@utc.edu.ec](mailto:bryan.aragon9283@utc.edu.ec)

**FORMACIÓN ACADÉMICA**

| <b>Nivel</b>      | <b>Institución</b>                  | <b>Periodo Académico</b> |
|-------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| <b>Secundaria</b> | Colegio “Nuestra Señora de Pompeya” | 2007 – 2013              |
| <b>Ingles B1</b>  | Universidad Técnica de Cotopaxi     | 2016 – 2018              |



.....  
**FIRMA**