



## Sistema de medición de vibraciones para el control de calidad en la empresa DavMotor Cía. Ltda

### Vibration measurement system for quality control in the company DavMotor Ltda

#### **Bryan Jair Aragón Pilco**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

bjap3.1415@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1529-9896

#### **Johan Fernando Villarreal Prado**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

johan.villarreal0280@utc.edu.ec

ORCID: 0000-0002-7897-5479

#### **Ángel Hidalgo Oñate**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

angel.hidalgo@utc.edu.ec

ORCID: 0000-0002-2804-7930

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.10.21.009>

Recibido: Junio 06, 2022

Aceptado: Agosto 16, 2022

**Resumen:** En la actualidad, el uso adecuado de las tecnologías existentes aplicadas al control de calidad agrega valor a los procesos productivos. Dav Motor Cía. Ltda. es una industria dedicada al diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses; la cual tiene como parte fundamental de su proceso productivo el control de calidad de sus unidades, donde la medición de las vibraciones se lo realiza basado en la percepción de las personas. Por este motivo, en este trabajo se presenta el desarrollo de un método automático e inalámbrico de análisis de vibraciones para monitorear el ajuste y sellado de ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros de las carrocerías. Los puntos de medición fueron determinados de acuerdo a las no conformidades encontradas y a los reclamos de los clientes finales quienes han solicitado que se cubran las garantías. Esta situación genera costos extras por cobertura de fallas de fábrica para la empresa. El análisis de vibraciones hace uso de la tecnología ZigBee, un microcontrolador Arduino y otros componentes compatibles para la lectura, tratamiento, visualización y análisis de datos de vibraciones generando informes de control de calidad confiables y agregando valor al proceso productivo. De esta forma se ha creado una mayor sinergia entre los sistemas ciber físicos y los procesos industriales, promoviendo el mejoramiento continuo y mayor satisfacción del cliente.

**Palabras clave:** ZigBee, Arduino, Automatización, Calidad, Industria 4.0.

**Abstract:** Currently, the proper use of existing technologies applied to quality control adds value to production processes. Dav Motor Cia. Ltda. is an industry dedicated to the design, manufacture and assembly of bus bodies; which has as a fundamental part of its production process the quality control of its units, where vibration

measurement is made based on a people's perception. For this reason, this paper presents the development of an automatic and wireless method of vibration analysis to monitor the adjustment and sealing of windows, lids, warehouses, boards, doors and trunks of the bodies. Measurement dots were selected according to non-conformity found as well as final client complaints, who have requested warranty. This situation generates extra-costs because of coverage of factory failures to the company. The vibration analysis makes use of ZigBee technology, Arduino microcontroller and its compatible components for the reading, processing, display, and analysis of vibration data generating reliable quality control reports and adding value to the production process. Thus, greater synergy has been created between cyber-physical systems and industrial processes, promoting continuous improvement as well as greater client satisfaction.

**Keywords:** *ZigBee, Arduino, Automation, Quality, Industry 4.0.*

## 1. Introducción

En la actualidad existen muchas formas de realizar controles de calidad dentro de las diferentes industrias alrededor del mundo, este indicador cada día se vuelve más importante debido a la competitividad y posicionamiento de productos que satisfacen las mismas necesidades del consumidor dentro de un mercado específico. Escoger adecuadamente una tecnología para automatizar controles de calidad permite evidenciar errores y no conformidades en el producto final para su posterior corrección, generando a su vez procesos estadísticos y de trazabilidad que promueven el mejoramiento continuo dentro del ambiente industrial.

El análisis de vibraciones como propuesta tecnológica para la automatización de pruebas de control de calidad en las carrocerías fabricadas por la empresa Dav Motor Cía. Ltda. es indispensable para su sostenibilidad, mejorando de esta manera su producto final a lo largo del tiempo, ya que ayuda a la generación de datos que son tratados y visualizados mediante herramientas de análisis de información, que a su vez derivan en informes de control de producto terminado fácilmente interpretables dentro del departamento de calidad de la empresa en mención.

Dav Motor Cía. Ltda. ha generado costos irrecuperables por problemas de calidad en sus unidades finales, debido al reingreso de productos ya vendidos a su planta industrial que vuelven por una cobertura de garantía en sus carrocerías, estadísticamente dentro de la empresa antes mencionada la mayoría de problemas radican en el ajuste y sellado de ventanas, tapas, bodegas, tableros, puertas y maleteros de la carrocería de buses interprovinciales; es ahí donde se ha puesto el interés de la investigación, diseñando un hardware y un software interrelacionados entre sí para el análisis de vibraciones contemplando las partes más críticas dentro de las carrocerías, para así verificar su ajuste y sellado, evitando que el producto final sea entregado al cliente con inconformidades, mejorando la reputación de la empresa y generando a futuro mayor productividad.

El análisis de vibraciones como control de calidad está guiado bajo los principios de la Industria 4.0, en donde la era digital predomina, promoviendo la interrelación de la tecnología con los procesos productivos, logrando así la extracción de datos para posteriormente ser tratados mediante herramientas de análisis que mejoran la toma de decisiones y optimizan sustancialmente los procesos, en este caso el de calidad.

## 2. Estado del arte

### 2.1. Historia

La tecnología va creciendo constantemente a lo largo de la historia, con el pasar del tiempo se hace necesaria la invención de nuevas maneras de satisfacer las distintas necesidades de personas, empresas, transporte terrestre, aéreo, marítimo entre otras más, la industria ha ido evolucionando de una manera constante 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 y con el desarrollo de la era digital a partir del siglo XXI se dio inicio a la Industria 4.0 o cuarta revolución industrial.

Si bien existen ciertas diferencias en las acepciones para connotar el advenimiento de esta cuarta revolución industrial (Industria 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 ciber físicos a los sistemas de producción industriales [1].

## 2.2. Medición de vibraciones mecánicas

Para comprender las vibraciones es necesario entender su definición. “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” [2]. Es decir, las vibraciones pueden ser entendidas como el cambio de un estado potencial-cinético de un cuerpo en un intervalo de tiempo. La medición de vibraciones puede realizarse de diferentes maneras y usando distintos instrumentos para ello, siendo uno de los principales los acelerómetros.

Los motores de combustión interna que poseen los buses que circulan día a día en las calles y carreteras del Ecuador son la principal fuente generadora de vibraciones mecánicas que afectan al confort de sus pasajeros, la fabricación de buses contempla en su proceso partes que atenúan dichas vibraciones siendo la principal el sistema de suspensión

En un estudio realizado respecto al 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, se dedujo que usando el medidor de vibraciones mecánicas marca ADQ con acelerómetros Wilcoxon Research 782 en buses, es necesario realizar mantenimientos correctivos para evitar que las vibraciones recibidas por los usuarios sean molestas y estén dentro de los estándares establecidos por la norma ISO 2631 [3].

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 adecuada en la solución de estos problemas ya que permite detectar fallas mecánicas y eléctricas en dichas máquinas.

Existen limitaciones en las conversiones de señales de vibraciones en un espectro de frecuencias ya que requieren de modelados matemáticos complejos; es por esto que en las industrias modernas se utiliza instrumentación adecuada y especializada para medir las vibraciones [4]. De esta forma al procesar y comparar mediciones de vibraciones extraídas de diferentes instrumentos en distintas gráficas especialmente de frecuencias con respecto al tiempo se puede detectar fallas en maquinarias usando las vibraciones que pueden resultar útiles en la programación de mantenimientos predictivos.

En un estudio realizado en una central hidroeléctrica de Santa Teresa ubicada en Alta Verapaz en el país de Guatemala se demostró que el monitoreo y análisis de vibraciones mediante un sistema de medición adecuado en las turbinas tipo Francis con las que funciona dicha hidroeléctrica permite planificar un mantenimiento predictivo que deriva en una ganancia de más del 60% en cuatro años desde la implementación de dicho sistema medidor de vibraciones, alargando de igual manera la vida útil de las turbinas en mención [5].

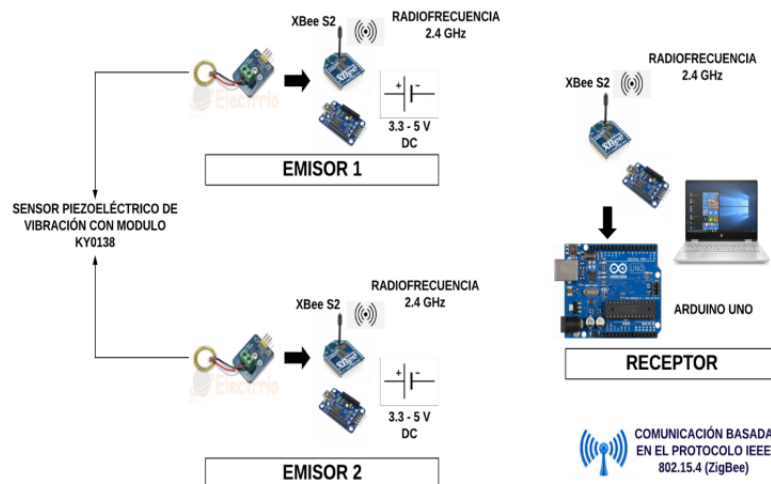
Un gran número de ingenieros centran sus esfuerzos en determinar formas óptimas para evitar vibraciones incontrolables en maquinarias, puesto que los efectos en cadena producidos por la proliferación de esta magnitud física derivan en fallos graves y paros de producción; las diferentes investigaciones y desarrollo de bancos de pruebas de vibraciones intentan analizarlas y estudiarlas, basados en algoritmos de repeticiones o repetitividad que buscan reducir y comprender las vibraciones haciendo uso de distintos métodos ingenieriles, desarrollando así planes de mantenimientos que evitan costos innecesarios [6].

## 2.3. Protocolo ZigBee y Arduino

“ZigBee es un protocolo de comunicación de baja potencia, rendimiento y costo” [7]. Los radios XBee usan dicho protocolo por lo que son usados para crear redes de transmisión de datos, estos radios pueden ser usados como coordinadores y nodos de acuerdo a como se desee realizar el intercambio de datos; además los radios XBee necesitan de un CPU como Arduino que pueda interpretar mediante una programación lógica los datos emitidos por la topología de red diseñada con los módulos antes mencionados. En el presente artículo se define una red multipunto con dos radios XBee como nodos y otro radio XBee enlazado a Arduino (mediante cables) como coordinador.

### 3. Materiales y métodos

La propuesta está presentada como una solución integral al problema que suscitan algunas empresas cuando se enfrentan a la decisión de automatizar los procesos, la cual se bosqueja como una alternativa disruptiva para medir sus variables y que de estas se puedan desprender soluciones basadas en datos, en este sentido lo esbozado está enfocado al área de calidad de una organización encargada del diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses interprovinciales; y se lo ha planteado de la siguiente manera; proponer una red inalámbrica de conexión entre los sensores utilizados y el receptor a fin de generar un instrumento flexible fácil de utilizar, adaptable al medio en el que se va a usar, reduciendo el cableado y basado en una red inalámbrica. Los sensores de medición (Piezoeléctrico – Módulo ky0138) gracias a sus características permiten detectar vibraciones, su función radica principalmente en la deformación del material piezoeléctrico estimulando cambios de voltaje que son directamente proporcionales a la vibración (medible y calibrable), su módulo (KY0138) permite acondicionar la señal y realizar conexiones de entrada y salida. El procesador del sistema está compuesto por un microordenador Arduino UNO (basado en un hardware y software libre), su flexibilidad permite conectar periféricos analógicos en sus outputs e inputs y estos a su vez pueden ser programados e interpretados en una interfaz gráfica de acuerdo a las necesidades de medición o en su defecto calibrados. El protocolo de comunicación en su parte pertinente está fundamentado sobre el componente electrónico XBee S2 el cuál se define como un módulo de comunicación que utiliza una radiofrecuencia 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), ver Figura 1.



**Figura 1.** Materiales utilizados y disposición general de los componentes.

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, Figura 2.

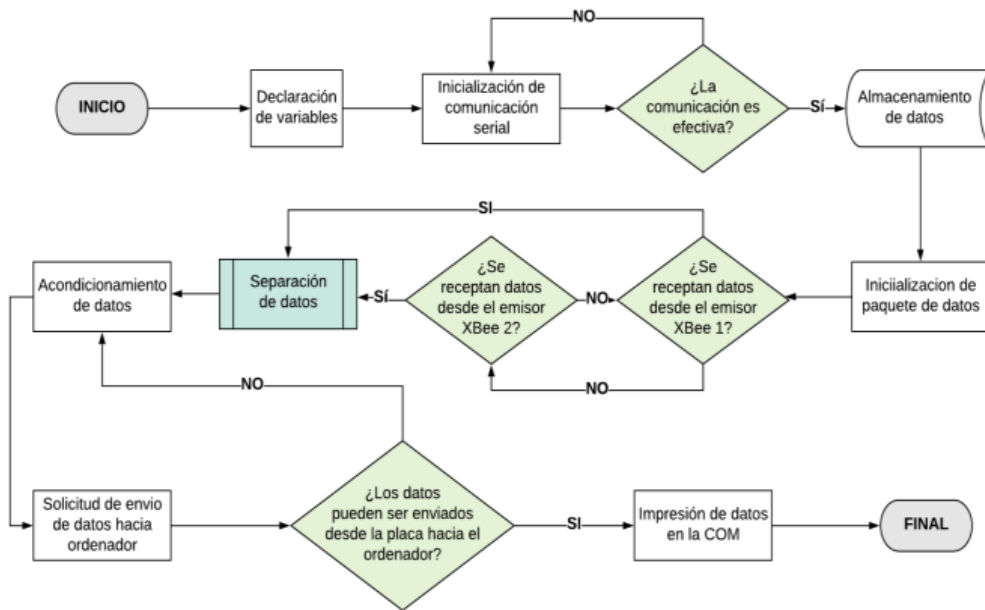
La propuesta tecnológica consta de tres módulos XBee Series 2, dos de ellos funcionarán en modo AT o transparente, ya que los sensores piezoeléctricos de vibración generarán datos que serán enviados inmediatamente hacia el receptor, que a su vez está interconectado con un microcontrolador Arduino UNO y para efectos de programación el módulo XBee receptor funcionará en modo API, de tal manera que reciba los datos de los nodos (en modo AT), y pueda transmitirlos por su puerto serie hacia el microcontrolador, permitiendo que se genere un procesamiento de datos con ayuda de la programación en la placa Arduino, a su vez, esta permitirá procesar, almacenar e imprimir los datos tomados por los sensores, Figura 3.

Para fundamentar una solución en el sentido integral es indispensable la visualización o interpretación de los datos obtenidos de las mediciones que se generarán a través de los métodos utilizados (que han sido explicados con anterioridad), en tal virtud, la propuesta posee las características necesarias para satisfacer uno de sus objetivos, con la ayuda adicional de un software que admita recibir la información del microcontrolador Arduino,

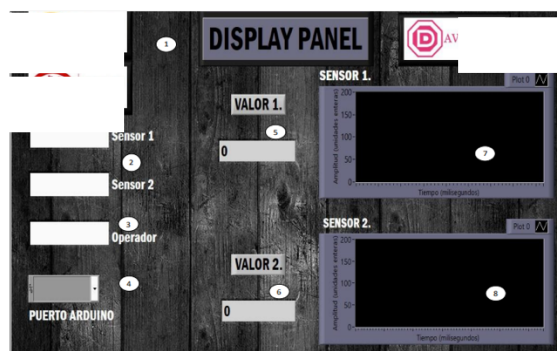
se puede generar un entorno de desarrollo, dando paso a un sistema de control en tiempo real embebido y presentar los datos compilados en una interfaz gráfica, Figura 4.



**Figura 2.** (a) Configuración de los módulos XBee en modo router en el programa XCTU. (b) Configuración del módulo XBee en modo coordinador en el programa XCTU.



**Figura 3.** Flujograma del programa Arduino.



**Figura 4.** Propuesta de Interfaz Gráfica.

El siguiente flujograma (Figura 5) guarda una relación directa con la Propuesta de Interfaz (Figura 4), el cual está elaborado mediante un lenguaje de programación gráfica, cuyo objeto se fundamenta en procesar los datos obtenidos y la visualización de lo medido, su función permite básicamente lo siguiente; interpretar las vibraciones en tiempo real a las que está expuesta el sensor colocado en su punto de medición ya preestablecido, dar trazabilidad a lo que se está midiendo, mostrar los datos compilados por el sistema y visualizarlos de manera distribuida a través de dos gráficas correspondientes a cada sensor.

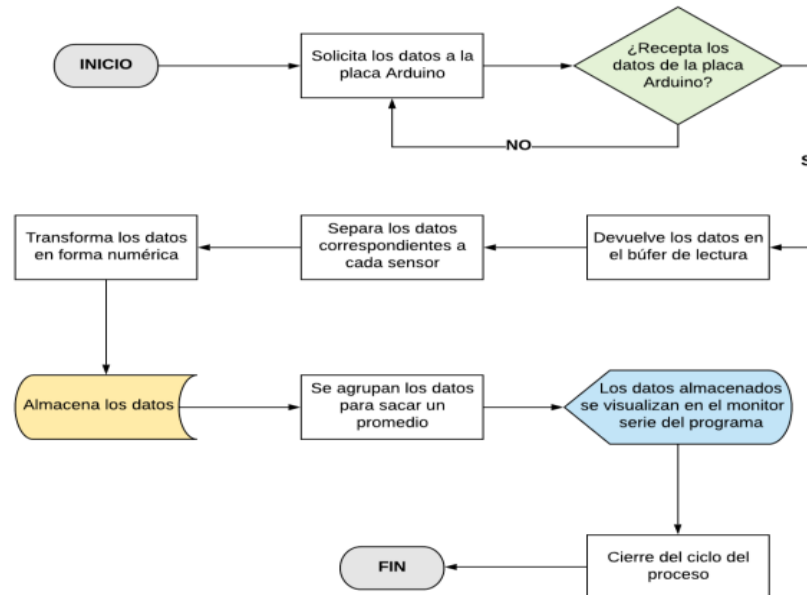


Figura 5. Flujograma de funcionamiento de la interfaz gráfica.

#### 4. Resultados

El uso de sensores piezoeléctricos de vibración, módulos XBee conjuntamente con Arduino UNO y la repetitividad en pruebas de ruta de control de calidad del producto terminado (bus interprovincial) de la empresa Dav Motor Cía. Ltda. permitió determinar valores o tolerancias máximos (límites de control superior) para cada parte analizada de la carrocería de los buses en mención; además mediante la aplicación del sistema de vibraciones en las pruebas de ruta se pudo determinar un tiempo de prueba óptimo tomando en cuenta la cantidad de datos requeridos para la prueba (2500 datos promediados de 100 en 100 para graficar 25 puntos) y los datos que el medidor de vibraciones arrojaba en un minuto (1200 datos/minuto), basado en la siguiente fórmula matemática.

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo de prueba} &= \frac{\text{Datos totales requeridos}}{\text{Datos tomados por minuto}} \\
 \text{Tiempo de prueba} &= \frac{2500 \frac{\text{datos}}{\text{prueba}}}{1200 \frac{\text{datos}}{\text{min}}} = 2,1 \frac{\text{min}}{\text{prueba}} = 125 \text{ segundos por cada prueba}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Los datos obtenidos en las pruebas de control de calidad son sometidos a un tratamiento estadístico que permiten obtener una visualización en gráficas de dispersión como informe final de la prueba, en donde se recomienda de acuerdo al resultado una acción correctiva o en su defecto una conformidad del producto final permitiendo entregarlo con una óptima calidad, evitando de esta manera el reingreso de dichas unidades por fallos de fábrica.

La visualización de la prueba de control de calidad es monitoreada durante todo el tiempo por el responsable o por quien esté realizándola, la Figura 6 muestra la interfaz gráfica de la recolección de datos de vibración en tiempo real.

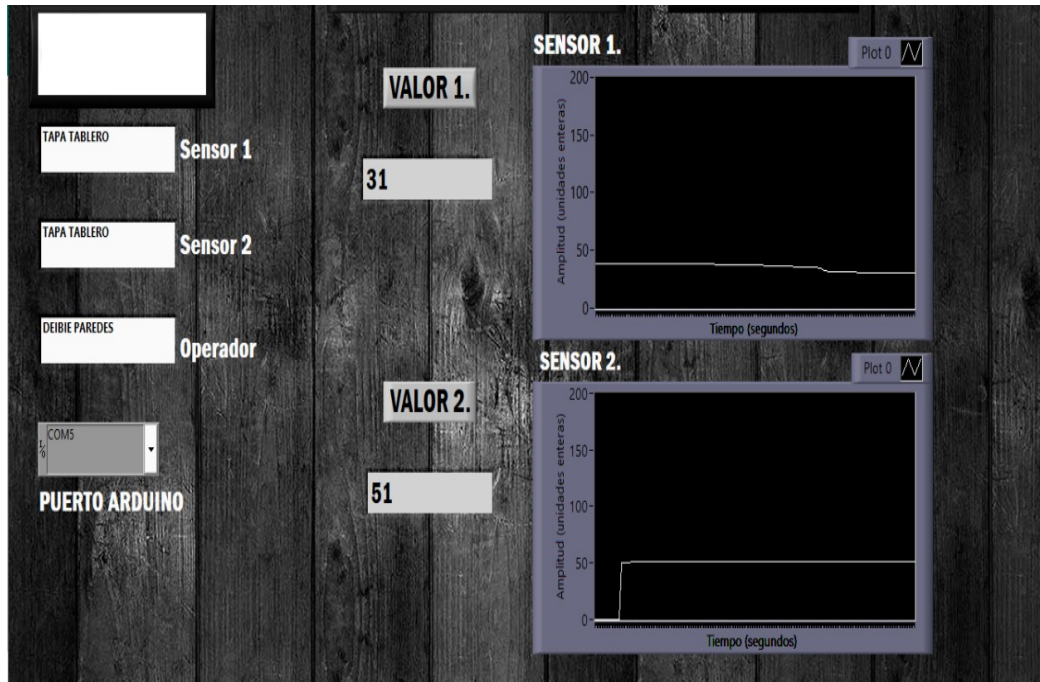


Figura 6. Visualizador en tiempo real de la prueba de control de calidad a partir de datos de vibración.

Como se observa en la Figura 7 antes de ejecutar la prueba es necesario llenar los campos editables (sensor 1 y 2 y operador) para conocer que parte de la carrocería se está analizando, al igual que el puerto COM (del computador) en el que está conectado el dispositivo receptor comandado por Arduino. Una vez transcurridos los 125 segundos de la prueba de acuerdo a la Ecuación 1 se generará una hoja de cálculo entendible con los datos guardados en un formato .XLS como muestra la Figura 7.

	A	B	C	D	E
1	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI				
2					
3					
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 7. Hoja de cálculo generada después de ejecutarse la prueba en la tapa 1 y 2 del tablero de la carrocería de un bus interprovincial fabricado en Dav Motor Cía. Ltda. antes de su entrega o salida del proceso de producción.

Los datos obtenidos en la prueba Figura 8 serán trasladados hacia una hoja de cálculo ya programada en donde se reflejarán los datos promediados en gráficos de dispersión utilizando 25 datos o puntos de inspección. Este análisis basado en un control estadístico permitirá tomar acciones correctivas o la aprobación inmediata de la unidad final (bus interprovincial). El informe final entregará un reporte que consta de tres partes fundamentales:

1. Gráficas de control (Figura 8).
2. Reporte de medición (Figura 9).
3. Reglas y medidas correctivas a aplicarse de acuerdo al informe generado (Figura 10).

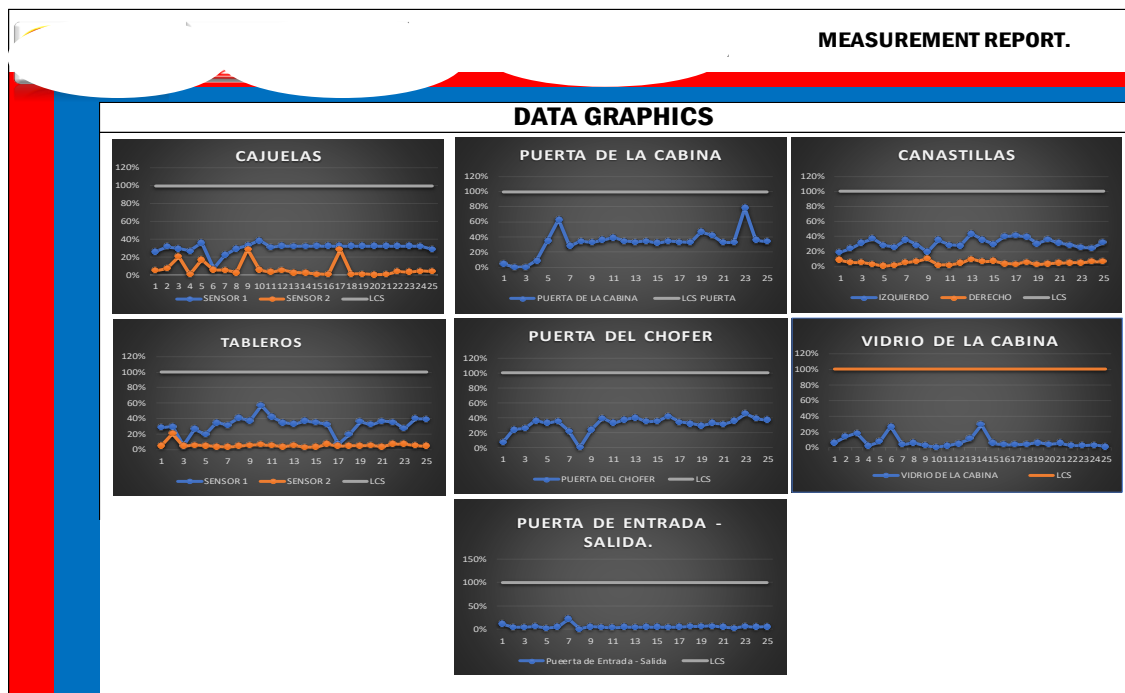


Figura 8. Gráficas de control como reporte final de la prueba de control de calidad.

<b>DM</b> Cia. Ltda.																																			
<b>MEASUREMENT REPORT.</b>																																			
<b>RESPONSABLE:</b>	Deibie Paredes	<b>FECHA:</b>	21/1/2020																																
		<b>OP:</b>	2519																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CAJUELAS.</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>39%</td> <td>30%</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>29%</td> <td>6%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		CAJUELAS.			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		1	39%	30%	✓	2	29%	6%	✓	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CANASTILLAS</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>44%</td> <td>31%</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10%</td> <td>5%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		CANASTILLAS			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		1	44%	31%	✓	2	10%	5%	✓
CAJUELAS.			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
1	39%	30%	✓																																
2	29%	6%	✓																																
CANASTILLAS			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
1	44%	31%	✓																																
2	10%	5%	✓																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUERTA DE LA CABINA</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>78%</td> <td>33%</td> <td>●</td> </tr> </tbody> </table>		PUERTA DE LA CABINA			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		1	78%	33%	●	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">VIDRIO DE LA CABINA.</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>29%</td> <td>7%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		VIDRIO DE LA CABINA.			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		2	29%	7%	✓								
PUERTA DE LA CABINA			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
1	78%	33%	●																																
VIDRIO DE LA CABINA.			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
2	29%	7%	✓																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">TABLEROS</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>57%</td> <td>32%</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>21%</td> <td>6%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		TABLEROS			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		1	57%	32%	✓	2	21%	6%	✓	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUERTA DEL CHOFER</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>46%</td> <td>32%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		PUERTA DEL CHOFER			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		1	46%	32%	✓				
TABLEROS			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
1	57%	32%	✓																																
2	21%	6%	✓																																
PUERTA DEL CHOFER			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
1	46%	32%	✓																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUERTA DE ENTRADA - SALIDA.</th> <th>APROBADO</th> </tr> <tr> <th>SENSOR</th> <th>MÁXIMO</th> <th>MÉDIO</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>23%</td> <td>6%</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		PUERTA DE ENTRADA - SALIDA.			APROBADO	SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO		2	23%	6%	✓																						
PUERTA DE ENTRADA - SALIDA.			APROBADO																																
SENSOR	MÁXIMO	MÉDIO																																	
2	23%	6%	✓																																
<b>OBSERVACIONES</b>																																			
<p>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.</p>																																			

Figura 9. Reporte de medición obtenido de los resultados de prueba de control de calidad.



REGLAS			INDICADORES	
N°	Descripción	Probabilidad	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	Describe que el punto de medición esta en buen estado.	0 AL 69%	✓	Representación grafica, que afirma el buen estado del punto de medición y su aprobación de la prueba.
2	es considerado como un rango medio donde sus posibles causas puedan ser solucionadas de una forma inmediata.	70% AL 80%	✗	Representación grafica, que afirma el mal estado del punto de medición y su no aprobación de la prueba.
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%	○	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 (rosca). 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 10. Medidas correctivas a aplicarse de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de control de calidad.

## 5. Conclusiones

El medidor de vibraciones genera un impacto positivo y agrega valor al proceso productivo de la empresa Dav Motor Cía. Ltda., puesto que permite controlar de una manera digital y automatizada la calidad de su producto final (bus interprovincial), reemplazando su método antiguo que hace uso de los órganos sensoriales de los encargados de realizar pruebas de control de calidad en ruta. El uso de tecnologías guiadas en los dogmas de la Industria 4.0 han posibilitado perfeccionar y generar una sinergia entre los sistemas productivos con los sistemas digitales promoviendo una mejora continua, optimizando procesos y por ende aumentando la productividad de las empresas que se encuentran en la aplicación de dicha filosofía industrial; el trabajo presentado en el presente artículo se enfoca en ofrecer una guía como base o iniciación de la implementación de sistemas ciber físicos dentro de la empresa Dav Motor Cía. Ltda. para mejorar su producción y ofrecer al cliente final un producto de calidad que pueda competir dentro del mercado nacional e internacional, evitando las pruebas destructivas en carrocerías siendo reemplazadas por pruebas inteligentes y digitales.

Existe una barrera al hablar de los mecanismos existentes de automatización, por tal razón esta propuesta presenta una solución exhaustiva a uno de los problemas que atraviesan la gran mayoría de las empresas y la idea es generar un paradigma hacia la industria 4.0, muchas veces con restricciones por desconocimiento de los beneficios que traería implementar un sistema automatizado o incluso ingresar sus procesos a un entorno IoT. Los mecanismos utilizados han sido analizados, estudiados y probados en base a las necesidades de la organización en la cual se ha implementado la propuesta, en tal virtud lo planteado se ha sometido a un entorno de pruebas, ajustes del dispositivo, tiempos de medición, control de datos, técnicas de desarrollo de programación para la manipulación de datos, técnicas de control estadístico sobre los datos compilados, métodos eficientes para la selección de los materiales, transmisión de los datos obtenidos utilizando módulos de comunicación que transfieren su información a través de una red de radiofrecuencia, etc. Para analizar la gran cantidad de datos que se compilan con la puesta en marcha del dispositivo, se puede generar un histórico de datos de medición, es decir, se está dando paso a una manipulación masiva de datos, que por su naturaleza, reemplazarían a los sistemas convencionales de medición, puesto que, con la ayuda de la estadística aplicada se podrían generar en un futuro una serie de desafíos en la comprensión, comparación, evaluación y como estos tendrían una injerencia directa en la toma de decisiones. Este tipo de propuestas está destinada a generar un impacto positivo en la organización en la cual permitiría que la obtención de datos en tiempo real podría incrementar positivamente los beneficios y evitar que el producto

terminado salga con algún defecto y en lugar de eso se pueda obtener una certificación de calidad fundamentada en un sistema automatizado a un costo mínimo.

### 5.1. Futuros Trabajos

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 físicas, permitiendo de esta manera optimizar tiempos y abarcar mayores puntos de medición, también se debe tomar en cuenta la posible sustitución de los módulos XBee S2 por módulos que permitan un mayor alcance para la transferencia de datos.

## 6. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Dav Motor Cía. Ltda. por el apoyo y las facilidades para el desarrollo de este trabajo.

## 7. Referencias

- [1] Drath, R., Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8 (2), 56-58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- [2] White, G. (2009). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Azima DLI. <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>
- [3] Gualotuña Quishpe, E. P. (2016). *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* [Tesis de Maestría]. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16341>
- [4] Olarte, W., Botero, M., Cañon, B. (2010). Análisis de vibraciones: una herramienta clave en el mantenimiento predictivo. *Scientia et Technica*, XVI (45), 219-222. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>
- [5] Alvarez Paniagua, J. E. (2019). *Mantenimiento predictivo a través de un sistema de monitoreo de vibraciones a turbinas tipo francis (8MW) acorde a la Norma ISO 10816, en la central hidroeléctrica Santa Teresa* [Tesis de Maestría]. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/12161>
- [6] García León, R. A., Flóres Solano, E., Pedroza, J. (2018). Diseño de un banco de pruebas para el análisis de vibraciones mecánicas. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1 (33), 24-35. <https://doi.org/10.24054/16927257.v33.n33.2019.82>
- [7] Niño Moreno, L. A (2021). Modelo de adquisición de datos para el monitoreo de activos mantenibles a través de un sistema de información. *Working Papers – ECBTI*, 2 (2), 1-9. <https://doi.org/10.22490/ECBTI.5571>