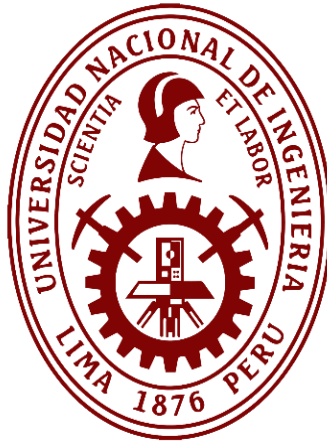


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



Tesis

“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo online continuo en estructura de zarandas para estudio de condición estructural”

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Elaborado por

Juan Raul Palomino Carbajal

 [0009-0001-7344-0408](https://orcid.org/0009-0001-7344-0408)

Asesor

Mag. Alcides Guillermo Joo Aguayo

 [0000-0002-8459-8489](https://orcid.org/0000-0002-8459-8489)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Palomino, 2025)
Referencia/Reference	Palomino, J. (2025). <i>Diseño e implementación de un sistema de monitoreo online continuo en estructura de zarandas para monitoreo y estudio de condición estructural</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre, Esperanza Carbajal, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida; a mi padre, Raúl Palomino, por su constante apoyo y el gran amor que tiene por sus hijos; y a mis hermanas, por su cariño y su respaldo.

Agradecimiento

Agradezco a todos los amigos que conocí durante mi etapa universitaria y formación académica, así como a las personas que me apoyaron con sus consejos para la realización de mi tesis.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería, mi casa de estudios, por impartirme mi formación profesional, y a cada uno de los docentes por las enseñanzas compartidas a lo largo de estos cinco años.

Lista de contenido

Pág.

Resumen	xvi
Abstract.....	xviii
Introducción.....	xx
1. Generalidades	1
1.1 <i>Antecedentes de la investigación</i>	1
1.2 <i>Identificación y descripción del problema de estudio</i>	5
1.3 <i>Formulación del problema</i>	8
1.3.1 <i>Problema principal</i>	8
1.3.2 <i>Problemas específicos</i>	8
1.4 <i>Justificación e importancia</i>	8
1.5 <i>Objetivos del estudio</i>	9
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	9
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1.6 <i>Formulación de la hipótesis</i>	9
1.6.1 <i>Hipótesis principal</i>	9
1.6.2 <i>Hipótesis específicas</i>	10
1.7 <i>Metodología de la investigación</i>	10
1.7.1 <i>Unidad de análisis</i>	10
1.7.2 <i>Tipo, enfoque y nivel de investigación</i>	11
1.7.3 <i>Diseño de la investigación</i>	11
1.7.4 <i>Fuentes de información</i>	11
1.7.5 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	12
1.7.6 <i>Análisis y procesamiento de datos</i>	12
2. Marcos teórico y conceptual	13
2.1 <i>Marco teórico</i>	13
2.1.1 <i>Vibraciones</i>	13
2.1.2 <i>Análisis de vibraciones</i>	15
2.1.3 <i>Transformada rápida de Fourier (FFT)</i>	16

2.1.4	Strain gage	17
2.1.5	Variables de operación al sistema Scada o DSC	19
2.1.6	DEWESoft	20
2.1.7	MQTT	21
2.1.8	SFTP	23
2.1.9	Extensión BAT.	25
2.1.10	Extensión VBS.	25
2.1.11	Topologías de RED	26
2.1.12	Acero estructural ASTM A36	27
2.1.13	Pernos estructurales A490	28
2.1.14	Limite elástico o limite de fluencia	28
2.1.15	GO	29
2.1.16	Operation Deflection Shape (ODS)	30
2.2	Marco conceptual: Definición de términos o conceptos	30
3	Desarrollo del trabajo de investigación	32
3.1	Componentes físicos	32
3.1.1	IOLITE 3xMEMS – ACC	32
3.1.2	Strain gages lineales – CEA-06-250UW-350	33
3.1.3	Strain gages de perno – LB11	34
3.1.4	IOLITEi – 1xSTG	35
3.1.5	IOLITEd-PWIn	36
3.1.6	Media converte	38
3.1.7	ECAT Hub 8 CU1128	39
3.1.8	Pc – Axiomtek – EBOX671-521-FL	40
3.2	Propuesta de diseño de la estructura de monitoreo	41
3.3	Sistema de alimentación	45
3.3.1	Interruptor termomagnético	46
3.3.2	Interruptor diferencia	47
3.3.3	Fuente de alimentación 120W – 24V – 5 ^a	47
3.3.4	Fuente de alimentación 240W – 48V – 5 ^a	48

3.3.5	<i>Distribución de tablero de control eléctrico</i>	50
3.4	<i>Criterios de ingeniería para ubicación de sensores y tablero eléctrico</i>	51
3.4.1	<i>Criterios para la ubicación de tablero eléctrico</i>	52
3.4.2	<i>Criterios para la ubicación de sensores mem's en la estructura</i>	52
3.4.3	<i>Criterios para la ubicación de galgas extensométricas lineales</i>	52
3.4.4	<i>Determinación de sensores en tolvas de alimentación</i>	53
3.5	<i>Esquema de ubicación de sensores</i>	53
3.6	<i>Esquema de conexión de sensores tipos mem's y strain gages</i>	55
3.7	<i>Implementación</i>	60
3.7.1	<i>Instalación de sensores</i>	60
3.7.2	<i>Implementación de tablero de energía</i>	75
3.7.3	<i>Conexión a internet y al servidor</i>	76
4	<i>Análisis y discusión de resultados</i>	107
4.1	<i>Análisis y discusión de la implementación del sistema de monitoreo</i>	107
4.1.1	<i>Instalación de sensores</i>	107
4.1.2	<i>Implementación del tablero de energía</i>	108
4.1.3	<i>Verificación de conexiones</i>	109
4.1.4	<i>Panel de monitoreo online</i>	110
4.1.5	<i>Envío de archivos de datos</i>	111
4.2	<i>Análisis y estudio de la estructura de zaranda con data obtenida</i>	113
4.2.1	<i>Análisis de vibraciones</i>	113
4.2.2	<i>Análisis ODS</i>	129
4.3	<i>Validación de hipótesis</i>	133
	CONCLUSIONES	135
	RECOMENDACIONES	137
	REFERENCIAS	138
	ANEXOS	142

Lista de Tabla

	Pág.
Tabla 1: Tipo de medición	14
Tabla 2: Estructura de control de paquetes de MQTT.....	22
Tabla 3: Ilustración de fixed header	22
Tabla 4: Propiedades mecánicas.....	28
Tabla 5: Propiedades mecánicas A490	28
Tabla 6: Características de acelerómetro mem's	33
Tabla 7: Características del strain gage lineal	33
Tabla 8: Características del strain gage de perno	35
Tabla 9: Características IOLITEi - 1Xstg.....	36
Tabla 10: Capacidad del IOLITEd – PWIN	37
Tabla 11: Características media converter – CK1021	38
Tabla 12: Características del Hub con 8 puertos ethernet	40
Tabla 13: Características de la computadora industrial eBOX.....	41
Tabla 14: Especificaciones técnicas del interruptor termomagnético	46
Tabla 15: Especificaciones técnicas del interruptor diferencial.....	47
Tabla 16: Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación 120–24 2.5A.....	48
Tabla 17: Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación 120 – 48 5A.....	49
Tabla 18: Equipos y su voltaje de alimentación.....	49
Tabla 19: Cantidad maxiama de sensores por power supply.....	51
Tabla 20: Códigos y descripción de ubicaciones y sensores	54
Tabla 21: Configuración de opciones de sincronización	94
Tabla 22: Propiedades físicas de materiales analizados	113
Tabla 23: Rangos de vibración definidos	114
Tabla 24: Información del sensor M-A4	115

Tabla 25: Información del sensor S-A4.....	115
Tabla 26: Información del sensor M-B3.....	116
Tabla 27: Información del sensor S-B2.....	116
Tabla 28: Información del sensor M-A2.....	117
Tabla 29: Información del sensor S-A3.....	118
Tabla 30: Información del sensor M-B1.....	119
Tabla 31: Información del sensor S-B1.....	119
Tabla 32: Información del sensor M-C1.....	120
Tabla 33: Información del sensor S-C1.....	120
Tabla 34: Información del sensor M-A5.....	121
Tabla 35: Información de los sensores S-B3 y S-B4.....	122
Tabla 36: Información del sensor M-B4.....	123
Tabla 37: Información del sensor M-A3.....	124
Tabla 38: Información del sensor M-B2.....	125
Tabla 39: Información del sensor M-A1.....	126
Tabla 40: Información de los sensores S-A1 y S-A2.....	126
Tabla 41: Información del sensor M-C3.....	127
Tabla 42: Información del sensor M-C2.....	128
Tabla 43: Información de los sensores S-C2, S-C3 y S-C4.....	129

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Partes de las estructuras de zarandas	6
Figura 2: Gráfico amplitud vs frecuencia.....	7
Figura 3: Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo	14
Figura 4: Señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia	17
Figura 5: Diagrama de stress vs strain	19
Figura 6: Flujo de material en zaranda	20
Figura 7: DEWESoft logo	20
Figura 8: MQTT logo.....	21
Figura 9: MQTT Publish / Subscribe arquitectura	23
Figura 10: SSH File Transfer Protocol (SFTP).....	24
Figura 11: Ejecutable de Windows con comando shell: startup	26
Figura 12: Tipos de topologías de red	26
Figura 13: Curva esfuerzo - deformación unitaria del acero en tracción	29
Figura 14: Logo de lenguaje de programación GO	29
Figura 15: IOLITE 3xMEMS – ACC	32
Figura 16: Strain gage lineal	33
Figura 17: Strain gage de perno - LB11.....	34
Figura 18: Aplicaciones típicas de la LB11	34
Figura 19: Amplificador de galga extensiométrica IOLITE STG.....	35
Figura 20: IOLITEd – PWIN.....	37
Figura 21: Conexión Power Injector.....	37
Figura 22: Media converter.....	38
Figura 23: Hub de 8 puertos para la sincronización de sensores	39
Figura 24: Computadora industrial Axiomtek.....	41

Figura 25: Diagrama de general de conexión de equipos y sensores	42
Figura 26: Topología de árbol del sistema de monitoreo	43
Figura 27: Sistema de adquisición y transferencia de datos	44
Figura 28: Diagrama unifilar de alimentación.	45
Figura 29: Interruptor termomagnético.....	46
Figura 30: Interruptor diferencial	47
Figura 31: Fuente de alimentación Mean Well	48
Figura 32: Fuente de alimentación 240 – 48V 5ª.....	49
Figura 33: Distribución de tablero eléctrico.....	50
Figura 34: Diagrama unifilar de sensores	54
Figura 35: Vista frontal - distribución general	55
Figura 36: Vista de planta - distribución general	55
Figura 37: Sensor mem's	56
Figura 38: Conexión entre sensores mem's.....	56
Figura 39: Caja protectora IP67 para mem's.....	56
Figura 40: IOLITEi - 1xSTG.....	57
Figura 41: Conexión entre dispositivos IOLITEi - 1xSTG.....	57
Figura 42: Conector de IOLITEi - 1XSTG	58
Figura 43: Conexión de strain gage con conector de IOLITEi - 1XSTG	59
Figura 44: Caja protector IP67 para IOLITEi – 1xSTG.....	59
Figura 45: Flujo de conexión de strain gages de perno	62
Figura 46: Flujo de conexión de strain gage lineal	65
Figura 47: IOLITEi - 1xSTG instalado	68
Figura 48: Sensor mem's instalado	70
Figura 49: Configuración de acelerómetro triaxial mem's	71
Figura 50: Configuración de strain gage lineal	72

Figura 51: Configuración de strain gage de pernos.....	73
Figura 52: Flujo de procesos para la prueba de los sensores	74
Figura 53: Armado de tablero de energía	75
Figura 54: Extensiones MQTT	76
Figura 55: Extensiones MQTT en la carpeta de Addons64.....	77
Figura 56: Administración de extensiones	77
Figura 57: Configuración de Historian Client – MQTT.....	78
Figura 58: DEWESoft - pantalla de canales	78
Figura 59: DEWESoft - pantalla de análisis FFT	80
Figura 60: DEWESoft – pantalla de análisis FFT – escalar	81
Figura 61: DEWESoft - Pantalla de Historian Cliente – publicar.....	82
Figura 62: DEWESoft - pantalla de medición	82
Figura 63: Esquema de proceso de la información	83
Figura 64: Arquitectura de microservicios con Docker y Kubernetes	84
Figura 65: Navegadores de internet.....	85
Figura 66: Dirección IP en navegador Google	85
Figura 67: Página web para visualización de datos globales.....	86
Figura 68: Creación de nuevo dashboard.....	86
Figura 69: Pantalla de visualización de valores por default	87
Figura 70: Datos globales mostrados en pantalla	87
Figura 71: Página web FreeFileSync.....	88
Figura 72: Carpetas creadas para el envío de archivos de datos	89
Figura 73: Software FreeFileSync.....	90
Figura 74: Carpeta DATA.....	90
Figura 75: Software FreeFileSync.....	91
Figura 76: FreeFileSync – comparación	91

Figura 77: Software FreeFileSync.....	92
Figura 78: FreeFileSync – servidor	92
Figura 79: Software FreeFileSync.....	93
Figura 80: FreeFileSync – sincronización	93
Figura 81: Software FreeFileSync.....	95
Figura 82: FreeFileSync - guardar como archivos por lotes.....	95
Figura 83: Archivo. ffs_batch.....	96
Figura 84: Configuración DEWESoft.....	96
Figura 85: DEWESoft - configuración para el proyecto.....	97
Figura 86: DEWESoft - configuraciones - archivos y carpetas	97
Figura 87: DEWESoft - configuración de canales	98
Figura 88: DEWESoft - configuración de canales – almacenamiento	98
Figura 89: DEWESoft - almacenamiento configuraciones	99
Figura 90: DEWESoft - opciones de almacenamiento	99
Figura 91: DEWESoft - configuración del disparo	100
Figura 92: Condiciones de inicio de almacenamiento	100
Figura 93: DEWESoft - condiciones de disparo por magnitud medida	101
Figura 94: DEWESoft - condiciones de disparo por tiempo	101
Figura 95: DEWESoft - Configuraciones para el proyecto – Inicio.....	102
Figura 96: DEWESoft – Configuraciones para el proyecto – cargar configuración predeterminada.....	102
Figura 97: Archivo DEWESoft.bat.....	103
Figura 98: Archivo SyncSettings.bat	104
Figura 99: Archivo DEWESoft.vbs	104
Figura 100: Archivo SyncSettings.vbs	105
Figura 101: Comando shell: startup	105

Figura 102: Carpeta startup.....	106
Figura 103: FileZilla	106
Figura 104: Instalación de strain gage de perno	107
Figura 105: Instalación de strain gage lineal	107
Figura 106: Instalación de acelerómetro mem's.....	108
Figura 107: Tablero de energía	108
Figura 108: Reconocimiento de sensores en el software DEWESoft.....	109
Figura 109: Pantalla de monitoreo online	110
Figura 110: Pantalla específica de monitoreo online	110
Figura 111: DEWESoft - Adquisición de data	111
Figura 112: FileZilla – Ventada de acceso.....	112
Figura 113: FileZilla – Conexión con servidor.....	112
Figura 114: Plano de distribución de sensores – vista frontal.....	113
Figura 115 Información de sensores del BN-310	114
Figura 116 Información de sensores del BN-309	116
Figura 117 Información de sensores del BN-308	117
Figura 118 Información de sensores del BN-305	118
Figura 119 Información de sensores del BN-303	120
Figura 120 Información de sensores en columna 1	121
Figura 121: Información de sensores en columna 2.....	123
Figura 122: Información de sensores en columna 3.....	124
Figura 123: Información de sensores en columna 4.....	125
<i>Figura 124: Información de sensores en columna 5.....</i>	<i>126</i>
Figura 125: Información de sensores en columna 7	127
Figura 126: Información de sensores en columna 8.....	128
Figura 127: Posición de sensores utilizados en ODS.....	129

Figura 128: ME'Scope - Posicionamiento de señales	130
Figura 129: ODS - 12.4Hz	131
Figura 130: ODS - 13.35Hz	131
Figura 131: ODS - 13.35 Hz – Órbita	132

Resumen

El objetivo del presente estudio es diseñar el sistema de monitoreo para una estructura de zarandas vibratoria tipo banana, lo cual permitirá realizar análisis basados en los datos obtenidos y dar seguimiento continuo a su salud estructural.

Una zaranda se encarga del proceso de separación de material según su tamaño: el material más fino pasa al siguiente proceso, mientras que el de mayor tamaño retorna al proceso de atomización. Antes de ingresar a la zaranda, el material debe ser transportado desde el punto de extracción mediante fajas transportadoras hasta la parte superior de la estructura, donde se almacena en contenedores conocidos como “BIN”. Posteriormente, el material es dirigido a un *feeder*, que se encarga de alimentar la zaranda de manera controlada, uniforme y constante.

Todas las máquinas mencionadas están instaladas sobre una estructura comúnmente denominada estructura de zarandas. Las vibraciones y cargas generadas por los procesos que se llevan a cabo en esta estructura pueden provocar daños en la misma. Si dichos daños no son detectados y corregidos oportunamente mediante mantenimiento o reparaciones, la estructura puede representar un riesgo tanto para la operación como para la seguridad de los trabajadores. Además, una estructura en mal estado puede ocasionar paradas no programadas en el proceso productivo, generando significativas pérdidas económicas debido al tiempo de inactividad. Por ello, es de vital importancia contar con un sistema de monitoreo que evalúe de forma continua la salud estructural. Esto permitirá recopilar información útil para anticipar fallas, programar mantenimientos preventivos y evitar daños a los equipos, interrupciones en la producción e incluso incidentes que puedan poner en peligro a los trabajadores.

La investigación desarrollada es de carácter exploratorio y se centra en las tecnologías empleadas para diseñar el sistema de monitoreo, tales como los sensores de aceleración

tipo MEMS, los sensores de deformación (*strain gages*), así como los programas y equipos de adquisición de datos.

Para el envío de información se utilizaron dos protocolos: el protocolo MQTT, destinado a la transmisión de valores globales, y el protocolo SFTP, utilizado para el envío de archivos de datos. El software encargado de la recepción y procesamiento de los valores globales fue desarrollado en el lenguaje de programación Go y se encuentra corriendo en un servidor. En cuanto a la base de datos para el almacenamiento y posterior visualización de la información, se utilizó InfluxDB. Adicionalmente, la investigación abarca aspectos relacionados con la instalación de los sensores, sus configuraciones, y los requerimientos de alimentación eléctrica necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Como resultado, se logró una implementación exitosa del sistema de monitoreo, el cual incluye un panel que permite visualizar los valores medidos, las alarmas y la tendencia de los datos en tiempo real. Los archivos de datos obtenidos permitieron realizar un análisis detallado de la forma de onda, las frecuencias presentes y los esfuerzos, evidenciando que la estructura se encuentra en buen estado. Además, al poder exportar los datos en formato “.txt”, se desarrolló un análisis de Operation Deflection Shape (ODS), que permite visualizar el movimiento de la estructura a distintas frecuencias.

Palabras clave — Sistema de monitoreo, protocolo de comunicación, salud estructural, tendencia.

Abstract

The objective of this study is to design a monitoring system for a banana-type vibrating screen structure, which will enable data-based analysis and continuous monitoring of its structural health.

The vibrating screen is responsible for separating material by size: finer material advances to the next process, while larger material returns to the atomization stage. Before entering the screen, the material is transported from the extraction point via conveyor belts to the top of the structure, where it is stored in containers known as “BINs.” It is then directed to a feeder, which feeds the screen in a controlled, uniform, and consistent manner.

All the aforementioned machinery is installed on a structure commonly referred to as the vibrating screen structure. The vibrations and loads generated during operation can cause damage to this structure. If such damage is not detected and addressed through timely maintenance or repairs, it can pose a risk both to operations and to worker safety. Furthermore, a deteriorated structure can lead to unplanned shutdowns in the production process, resulting in significant financial losses due to downtime. For this reason, it is essential to have a monitoring system that continuously assesses the structural health. This allows for the collection of key data to anticipate failures, schedule preventive maintenance, and prevent equipment damage, production stoppages, or even incidents that may endanger personnel.

This research is exploratory in nature and focuses on the technologies used to design the monitoring system, such as MEMS-type acceleration sensors, strain gauges, as well as data acquisition software and hardware.

Two communication protocols were implemented for data transmission: MQTT, used for transmitting global values, and SFTP, used for sending data files. The software responsible for receiving and processing the global values was developed using the Go programming language and is currently running on a dedicated server. The database used

for storing and visualizing the data was InfluxDB. Additionally, the study covers key aspects such as sensor installation, configuration, and the power supply requirements necessary for the system's proper operation.

As a result, a successful implementation of the monitoring system was achieved. It includes a real-time visualization panel that displays measured values, alarms, and data trends. The collected data files enabled a detailed analysis of waveforms, present frequencies, and stress levels, confirming that the structure is in good condition. Furthermore, by exporting data in “.txt” format, an Operation Deflection Shape (ODS) analysis was carried out, which allows for visualization of the structure’s dynamic behavior at different frequencies.

Keywords — Monitoring system, Communication protocol, Structural health, Trend.

Introducción

El presente trabajo se basa en un sistema de monitoreo online para una estructura de zarandas tipo banana, con la finalidad de obtener un sistema que brinde datos de vibración y esfuerzos para el desarrollo de su estudio de salud estructural. El desarrollo del estudio de salud estructural tiene como objetivo brindar información útil al área de mantenimiento para planificar las fecha y los puntos específicos en los cuales la estructura de zaranda requiera mantenimiento.

El sistema está conformado por sensores acelerómetros y strain gages, los cuales se instalan a lo largo de la estructura de zaranda. Estos sensores se conectan entre sí para formar un red de sensores con estructura tipo árbol de 3 ramas. Las 3 ramas se conectan a un ECAT-HUB para unificarlas, sincronizar y organizar las señales. Con esto, el software que muestrea los datos y envía las señales de los valores globales y archivos de datos hacia el servidor mediante el protocolo MQTT y SFTP, respectivamente. En el servidor se encuentra el backend que permite leer los datos enviados por MQTT y SFTP para luego ser guardados en una base de datos.

Al terminar con la implementación del sistema a nivel de hardware y software, se realiza la pantalla de monitoreo de la estructura con los datos guardados en la base de datos. En la pantalla, se pueden visualizar las posiciones de los sensores y sus valores de vibración o esfuerzos que presentan. Además, los archivos de datos se descargan de la base de datos para realizar el estudio de la forma de onda, espectros y el análisis de ODS de la estructura. De esta manera, el presente trabajo concluye con los capítulos de conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

1.Generalidades

En los últimos años, el monitoreo de salud estructural se ha posicionado como uno de los métodos no destructivos más eficaces en la identificación y detección de posibles daños en cualquier tipo de estructura. Esto se debe al avance de la tecnología de instrumentación y procesamiento de señales digitales. Como resultado, el monitoreo de la salud estructural permite identificar daños en la estructura, su magnitud y ubicación, como deformaciones, grietas y fatiga, lo cual repercute en la disminución de la resistencia y en la rigidez, provocando que las características estáticas y dinámicas cambien (Marulanda et al., 2011).

El monitoreo también permite realizar un mantenimiento predictivo con eficiencia. Este tipo de mantenimiento se encuentra en aumento en la industria debido a diversos factores, tales como los desarrollos tecnológicos en instrumentos de diagnóstico, medición y control; el aumento en la automatización de las líneas de producción continua; los altos costos en repuestos y reposición de equipos; y en especial, la concientización de los costos que generan los paros no programados en la producción. El análisis vibracional facilita la detección de problemas mecánicos, evitando así fallas inesperadas. Por lo tanto, se puede decir que “el nivel de vibración es un indicador tan importante del estado de la maquinaria, como lo es la temperatura del cuerpo para el ser humano”(Garcia, 2006, p.27).

1.1 Antecedentes de la investigación

- Manuel, M.B. ; Jorge, G.E. ; Óscar, J.S. ; Leydi, M.M. ; César, C.A. (2023). “Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para cultivos hidropónicos”

En el presente trabajo se presenta un sistema de monitoreo Internet de las cosas (IoT) escalable, basado en la tecnología emergente de comunicación inalámbrica Sigfox,

la cual se caracteriza por su largo alcance, transmisión de datos segura y bajo consumo de energía. El sistema incorpora capacidades predictivas para aplicaciones agrícolas mediante redes neuronales, alcanza una precisión del 89.37%.

El paper proporciona una arquitectura de cuatro capas que consta de percepción, red, middleware y aplicación. El sistema se centra en monitorear las condiciones climáticas y de los factores que inciden en el crecimiento de los cultivos. Por lo tanto, el sistema cuenta con sensores de temperatura y humedad, y se diseña un dispositivo IoT personalizado que utiliza la red Sigfox como medio de comunicación para enviar datos al internet. Los datos son analizados y visualizados mediante la plataforma ThingSpeak. Además, se implementa un algoritmo de aprendizaje automático para predecir la temperatura en función de los valores de humedad registrados, con el fin de simular variaciones climáticas en el futuro.

El proceso de validación incluyó la construcción y la prueba experimental del sistema, el cual fue implementado en un entorno hidropónico en Loja, Ecuador, donde, durante cinco meses, se monitorearon condiciones como la temperatura, la humedad y la recirculación de nutrientes.

El sistema desarrollado cuenta con la inteligencia necesaria para proporcionar información y ayudar en la acción de control del entorno hidropónico. Utilizando los parámetros medidos, el sistema facilita la toma de decisiones informadas, permitiendo a los agricultores implementar prácticas agrícolas que aumenten la rentabilidad y reduzcan los riesgos ambientales, mejorando así su producción.

- Orly, M.S. (2020). "Implementación de un sistema de monitoreo remoto, en el tanque de almacenamiento y unidad de bombeo de crudo, de los pozos del Bloque Gustavo Galindo Velasco Pacifpetrol"

La tesis implementa un sistema remoto de adquisición de datos, orientado a medir los niveles de petróleo en los tanques de almacenamiento y a controlar el encendido del motor en la unidad de extracción de crudo en los pozos petroleros.

El sistema utiliza un sensor de transmisión de precisión hidrostática sumergible SITRANS de Siemens, para el registro de datos. Para la comunicación mediante tecnología GPRS, se utiliza un datalogger NEMOS LP. En cuanto al control de la unidad de bombeo mecánico, conocida como balancín, se utiliza un placa Arduino UNO. Alimentado por baterías, el sistema está diseñado para operar remotamente por telemetría, en entornos donde no hay suministro eléctrico disponible.

El datalogger NEMO LP se encarga de recibir y procesar los datos medidos por el sensor de presión hidrostática, de tal manera que obtiene el volumen en barriles de petróleo y los envía al servidor Zeus. Por otra parte, el datalogger también recibe datos de un sensor digital colocado en la puerta del gabinete con indicador ON/OFF, que permite conocer si el gabinete se encuentra abierto o encendido.

El control del encendido del motor del balancín se controla con un microcontrolador Arduino UNO, el cual recibe los datos del datalogger NEMO para conocer el nivel de altura del crudo. Cuando el nivel alcanza una altura máxima, el Arduino apaga el motor; de igual manera, si se detecta una altura mínima, se enciende el motor para continuar con el proceso de extracción de petróleo. Además, el Arduino envía datos al datalogger para indicar si el motor se encuentra en funcionamiento o no.

Todos los datos son visualizados por medio de un monitor de computadora o celular a través de la plataforma Zeus. Al poder visualizar el nivel de crudo en los tanques de almacenamiento, carga de baterías, puerta abierta o cerrada y si el balancín está en funcionamiento o apagado, el departamento de operaciones y producción podrá optimizar la planificación logística para el despacho de vehículos tanqueros encargados de la extracción del petróleo desde los tanques.

- Erick, E.G. ; Alex, V. (2018). “Sistema de monitoreo energético y control domótico basado en tecnología Internet de las cosas”

El artículo presenta el diseño y desarrollo de ChuchusMOTE1, un sistema IoT orientado al monitoreo de variables energéticas y control domótico. Está compuesto por nodos electrónicos equipados con sensores y actuadores inalámbricos, los cuales permite la supervisión de parámetros eléctricos y el manejo remoto de cargas eléctricas y electrónicas.

El sistema utiliza el protocolo de comunicación MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para transmitir datos y posibilita su monitoreo en tiempo real. El servidor de ChuchusMOTE se suscribe al broker MQTT para recibir los datos enviados por los diferentes nodos electrónicos, los cuales son almacenados en una base de datos MongoDB, conectada al servidor mediante el módulo Mongoose. Para enviar los datos a los clientes web, se utiliza el módulo WebSocket, que permite abrir un canal bidireccional entre servidor y el cliente.

El sistema está destinado a ser utilizado para aplicaciones orientadas al análisis y a la mejora de la eficiencia en sistemas fotovoltaicos, así como en el estudio del consumo energético en distintos entornos. Utilizando la tecnología IoT, se puede conectar sensores con los módulos de control y análisis de datos a través del envío de mensajes ligeros de forma asíncrona. Asimismo, el sistema puede almacenar la información en una base de datos y visualizar en tiempo real las variables monitoreadas mediante una aplicación web.

- Mario, M.W. ; Juan, O.C. (2023). “Diseño de un sistema de monitoreo sísmico para el apagado automático de procesos críticos en una fábrica de pinturas” [11]

La tesis propone el diseño de un sistema de monitoreo sísmico para el apagado automático de procesos críticos en una fábrica de pintura. El sistema se basa en una red de acelerógrafos triaxiales dotados con telemetría para el envío de datos sísmicos en tiempo real mediante el protocolo SeedLink a un sistema de adquisición de datos basado en Python y tecnología web para el procesamiento y despliegue de la información.

El problema que se intenta resolver es automatizar el apagado de un proceso crítico mediante una señal de comando enviada desde el sistema de adquisición de datos hacia un PLC. Esta señal se emitirá cuando procesamiento en tiempo real determine que se ha cumplido la condición de disparo; es decir, cuando el sistema haya detectado un evento sísmico con una amplitud preestablecida. El método de detección consiste en el arribo de las ondas primarias y el cálculo de la amplitud; para lo cual se hace uso del algoritmo STA/LTA el cual es un método basado en comparaciones de energía mediante ventanas de tiempo y el segundo mediante la respuesta instrumental del sensor.

El procesamiento de los datos se realiza en background utilizando el lenguaje científico Python (utilizando la librería de procesamiento sísmico Obspy), mientras que la presentación en una interfaz web desarrollada en JavaScript, donde se visualizan las formas de onda en tiempo real y los resultados de los cálculos.

1.2 Identificación y descripción del problema de estudio

Las estructuras experimentan vibraciones, como ocurre con las estructuras de zarandas en minas, turbinas de vapor en centrales termoeléctricas, sopladores y otros equipos similares. La presencia de vibraciones severas es el resultado de problemas mecánicos debido a las fuerzas que se aplican a la estructura. La vibración puede causar fatiga, averías y fisuras, lo que empeora la condición de salud de la estructura. Esto es perjudicial si no se realiza un mantenimiento o una intervención oportuna, ya que puede ocasionar fallas y daños en los equipos o máquinas (Erbessd, 2013).

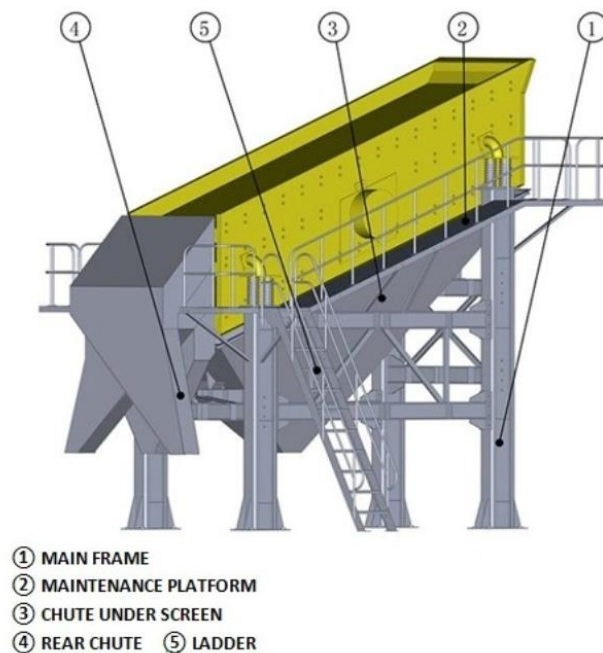
El mantenimiento predictivo evalúa la condición de la maquinaria o los equipos para identificar fallas incipientes y recomendar su intervención a fin de evitarlas. Las fallas en las máquinas o equipos son costosas, en términos de costos de reparación y pérdida de productividad, por lo cual el mantenimiento predictivo genera importantes ahorros (Montaño et al., 2023).

El mantenimiento predictivo permite intervenir antes de que ocurra el tiempo de inactividad, lo cual resulta altamente rentable en comparación con las estrategias tradicionales, según la encuesta de mantenimiento de “Plant Engineering” de 2018 (Medina, 2020).

Desde los años setenta, el monitoreo periódico de vibraciones de máquinas y estructuras se ha convertido en un componente principal para llevar a cabo programas de mantenimiento predictivo. Sin embargo, para evaluar equipos críticos, cuya parada inesperada o falla puede causar una pérdida significativa de la producción, el monitoreo periódico no proporciona la seguridad requerida (Maciso et al., 2023).

Figura 1

Partes de las estructuras de zarandas



Fuente: Shangahái kinglink industry Co., LTD.

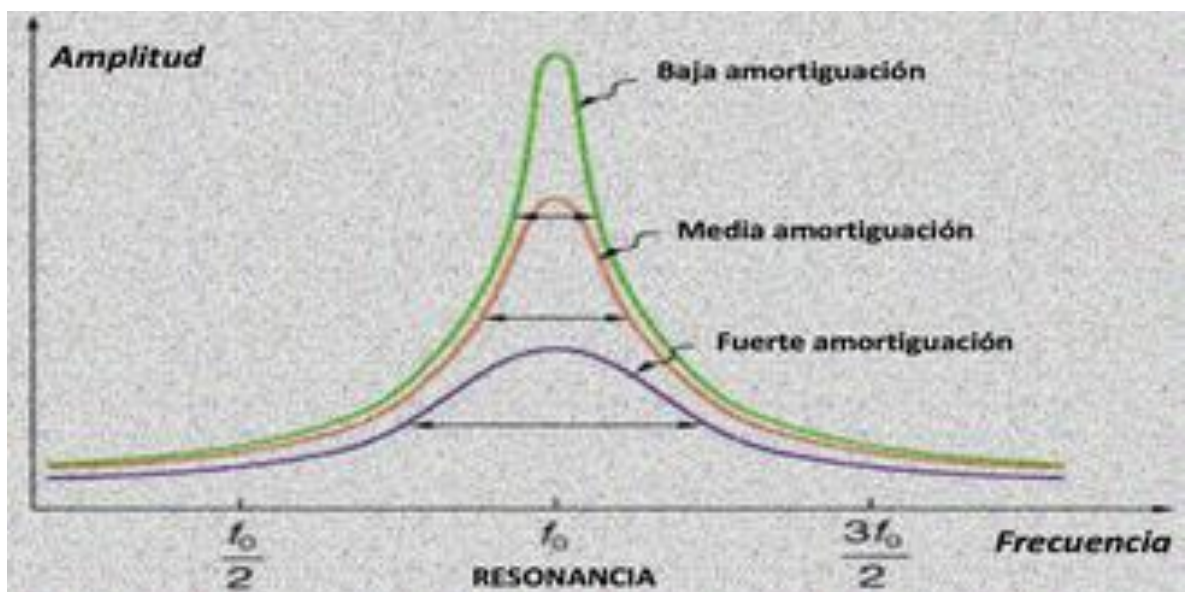
Una causa de fallas presentes en estructura de zarandas es la falla por fatiga a la que están sometidas debido al funcionamiento de la zaranda, ya que trabaja vibrando, y aunque cuenta con amortiguadores, las vibraciones logran transmitirse hacia la estructura.

Otro problema común en estas estructuras es la disminución de su rigidez, lo que provoca cambios en la frecuencia natural de la estructura. Esto lleva a que la estructura se acerque a una de sus frecuencias de resonancia y presente vibraciones de gran amplitud. Cuando una estructura opera cerca de su frecuencia natural, la resonancia hará que las vibraciones aumentan repentinamente y significativamente en amplitud, lo que contribuye a acelerar el deterioro de la estructura (Fernandez, 2024).

$$f = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Figura 2

Gráfico amplitud vs frecuencia



Fuente: CEMDAL Y LEEDEO ENGINEERING.

Las estructuras o maquinarias a las cuales no se les realiza seguimiento de sus niveles de vibración o de las cuales no se cuentan con datos para un correcto análisis de su salud estructural, no contarán con una buena toma de decisiones respecto a su mantenimiento, lo cual ocasionará que la estructura trabaje en un estado de funcionamiento nocivo y eventualmente cause paros en la maquinaria y en la producción.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema principal

- ¿Cómo monitorear continuamente una estructura de zarandas tipo banana y obtener datos de vibración y esfuerzos para realizar su estudio de condición de salud estructural?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo adquirir datos periódicamente y de eventos anormales que sucedan en la estructura?
- ¿Cómo muestrear, procesar y visualizar los niveles de vibración en tiempo real?
- ¿Cómo conocer el estado de la estructura para programar los mantenimientos en la misma?

1.4 Justificación e importancia

La recolección de datos necesarios para un análisis vibracional detallado es importante para la buena toma de decisiones de mantenimiento. Permite determinar qué parte de las máquinas o estructuras se debe reparar, así como también estimar el tiempo que puede trabajar para programar la fecha más apropiada para su mantenimiento. La inapropiada adquisición de datos provocará que el monitoreo no sea confiable y que el diagnóstico de falla sea inexacto. Por el contrario, un mantenimiento eficiente brinda protección y conservación de los equipos y estructuras, garantiza la productividad y la seguridad del servicio que se realiza (García, 2006).

Por lo tanto, realizar un monitoreo efectivo que brinde información para la ejecución de un mantenimiento predictivo oportuno y evite paradas de producción debido a fallas, es complejo para equipos críticos, debido a que debe realizarse con regularidad. Esto

ocasiona que se generen las fallas para realizar el mantenimiento, lo cual resulta en un aumento en las horas de parada de producción y en los gastos en reparación.

1.5 Objetivos del estudio

1.5.1 *Objetivo general*

- Diseñar un sistema de monitoreo online que permita visualizar continuamente y muestrear los datos de vibración y esfuerzos para el estudio de la condición de salud estructural de la estructura de zarandas tipo banana.

1.5.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema de adquisición de archivos de datos periódicamente, durante eventos anormales detectados en la estructura de zaranda y su envío seguro a un servidor con el protocolo SFTP.
- Muestrear y procesar datos de valores globales mediante el protocolo MQTT con intervalos de 5 segundos en el servidor, para visualizar los registros de niveles de vibración en la interfaz de monitoreo.
- Analizar el estado de salud estructural de la estructura de zaranda con la data obtenida del sistema de monitoreo online.

1.6 Formulación de la hipótesis.

1.6.1 *Hipótesis principal*

- El diseño e implementación de un sistema de monitoreo online y obtención de datos para el estudio de salud estructural en una estructura de zarandas tipo banana.

1.6.2 Hipótesis específicas

- La adquisición periódica y cuando se detecten eventos anormales mediante el protocolo SFTP brindará una forma segura de enviar y descargar archivos de datos en el servidor.
- La implementación del protocolo MQTT en el muestreo de valores globales permitirá una subida y descarga de valores globales ligera y eficiente para la interfaz de monitoreo.
- La implementación de un sistema de monitoreo que obtenga datos útiles para el estudio de la condición de salud estructural de la estructura de zarandas tipo banana.

1.7 Metodología de la investigación

1.7.1 Unidad de análisis

El sujeto de análisis es el diseño del sistema de monitoreo continuo. Este debe tener características como la capacidad de reconectarse frente a eventos de corte de energía y la habilidad para reconocer eventos anómalos en los datos medidos por los sensores. De esta manera, comienza la recolección de datos durante el tiempo que dure dichos eventos. Esto es sumamente importante, ya que, si los datos de condiciones normales son grabados continuamente, se llenará el almacenamiento de nuestro sistema con datos similares y sin mayor importancia para el análisis.

Debido a que la zona de trabajo en la que serán instalados los sensores del sistema de monitoreo debe contar con un grado de protección que cumpla con la norma internacional IP67, la cual especifica la protección del sistema contra el agua y el polvo.

1.7.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

La presente tesis tiene un enfoque cuantitativo debido a que es una investigación estructurada y concreta, el planteamiento del problema es delimitado y específico, y la hipótesis se genera antes de recolectar y analizar los datos. Además, ésta misma se somete a pruebas para que los resultados corroboren la hipótesis o sean congruentes y aporten evidencia a su favor. El desarrollo de la investigación es objetivo y explica los fenómenos investigados relacionando los datos obtenidos, los cuales poseen estándares de validez y confiabilidad. Finalmente, las conclusiones derivadas generan conocimiento nuevo.

El alcance de la investigación es explicativo, debido a que, a partir de la obtención de los datos medidos por el sistema de monitoreo, se podrá realizar una explicación del fenómeno y estudiar la condición de salud estructural en la que se encuentra la estructura de zaranda.

1.7.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, debido a que en el diseño del sistema de monitoreo se pueden utilizar diversos software de adquisición de datos, sensores y protocolos, los cuales se instalarán en la estructura de zaranda que se desea monitorear y estudiar. Además, luego de medir y obtener los datos, se analiza y verifica que los datos obtenidos por el sistema son útiles para el monitoreo y el estudio de salud estructural de la estructura de zaranda.

1.7.4 Fuentes de información.

Fichas técnicas: Se realiza una búsqueda de los distintos dispositivos que se utilizan para la construcción del sistema de monitoreo, como sensores, fuentes de energía, programación, etc.

Papers: Se realiza una búsqueda para encontrar el mejor protocolo para el envío seguro de información.

Foros de Programación: Herramientas, librerías y software útiles para la recopilación y muestreo de datos.

Páginas web: Se busca información sobre los protocolos y funciones útiles para la autonomía del sistema frente a cortes de energía.

1.7.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Se realiza la revisión de documentos previos, informes, artículos, papers, entre otros, para recolectar información sobre el funcionamiento de los sensores, de los instrumentos de adquisición de señales, de los protocolos de comunicación, asegurando que las fuentes consultadas sean confiables y actualizadas.

1.7.6 Análisis y procesamiento de datos.

El análisis de las fichas técnicas de los instrumentos y sensores, así como la revisión de los protocolos de comunicación e intercomunicación entre los dispositivos mejora el funcionamiento del sistema de monitoreo y permite obtener un sistema más eficiente y seguro para la adquisición de datos y su transmisión a los servidores. Esto permite adquirir datos útiles para el estudio periódico de la estructura y planificar con antelación los mantenimientos que se deben realizar para que no se vea afectado su salud estructural.

CAPITULO II

2. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Vibraciones

Las vibraciones son oscilaciones mecánicas que ocurre alrededor de una posición de equilibrio. En las máquinas y estructuras, las vibraciones son generadas por las fuerzas dinámicas a las cuales se encuentran sometidas, debido al funcionamiento de las partes móviles de la misma o a fuerzas externas variables. Las máquinas en funcionamiento producen vibraciones que son causadas por las fuerzas necesarias para mover sus mecanismos. Además, las vibraciones producidas por las máquinas en funcionamiento pueden propagarse hacia otras máquinas, hacia las estructuras que las soportan o hacia aquellas que se encuentran a su alrededor (Torres, 2022).

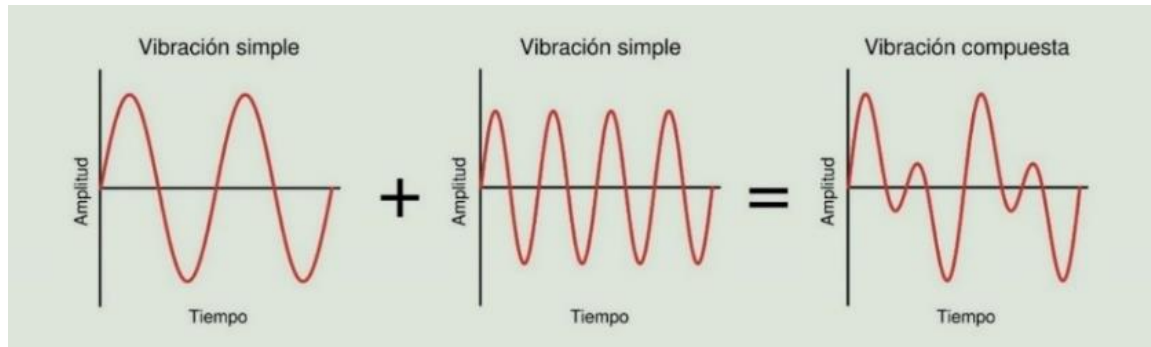
Las principales características de las vibraciones son su amplitud, frecuencia y fase. Las vibraciones se pueden distinguir en dos tipos: las vibraciones simples y las vibraciones complejas o compuestas. Las vibraciones simples son aquellas vibraciones que tienen una amplitud y una frecuencia fija, a diferencia de las vibraciones complejas o compuestas, las cuales tienen amplitud y frecuencia variables (Eshleman, 2022).

“Una vibración compuesta está formada por la suma de varias vibraciones simples” (Fernandez, 2024).

En general, las vibraciones complejas se encuentran en las máquinas y estructuras. Estas pueden descomponerse en varias vibraciones simples de distintas amplitudes y frecuencias, mediante el método de transformada rápida de Fourier (FFT).

Figura 3

Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo



Fuente: Alfonso Fernandez, “Vibración en maquinaria industrial”. <https://power-mi.com/es/content/vibraci%C3%B3n-en-maquinaria-industrial>

En cuanto a la salud estructural, la amplitud de las vibraciones es un indicador importante a tener en cuenta; esta puede medirse en base a variables de desplazamiento, velocidad o aceleración. Estas variables pueden estar relacionadas con diferentes tipos de problemas en la máquina o estructura (Torres, 2022).

Tabla 1

Tipo de medición

Medición	Unidades	Descripción
Desplazamiento	Micras p-p, Mils p-p (*)	Movimiento de la maquina o estructura y está relacionado con el esfuerzo .
Velocidad	mm/seg, pulg/seg (**)	Rapidez del cambio del desplazamiento y está relacionado a la fatiga .
Aceleración	g´s (***)	Está relacionado con las fuerzas

Fuente: Manual de CAT II – Vibration Institute (2022).

Para medir correctamente vibraciones, se debe tomar en cuenta el rango de frecuencia de las vibraciones presentes en la máquina o estructura a estudiar. Para vibraciones que se encuentran por debajo de 600 ciclos por minuto (cpm), se deben tomar medidas de vibraciones en desplazamiento. Para frecuencias de 600 cpm a 60,000 cpm,

se deben tomar medidas en velocidad, y para vibraciones con frecuencia mayor a 60,000 cpm, se deben tomar medidas en aceleración.

2.1.2 Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una técnica utilizada en ingeniería para evaluar la condición de maquinarias y estructuras, mediante la medición de las vibraciones presentes en ellas. Normalmente se emplean acelerómetros para realizar estas mediciones, cuyos datos obtenidos son procesados mediante software especializado. La finalidad de analizar las vibraciones es detectar anomalías mecánicas, como desbalance, desgaste, holgura mecánica, desalineamiento, resonancia, y frecuencias naturales, de tal manera que se conozca el estado de la máquina o estructura para predecir y prevenir fallas mecánicas (Vargez, 2021).

Los acelerómetros son los sensores más comunes para recoger la información de las vibraciones. Estos generan una señal de voltaje que es proporcional a la vibración. Dicha señal está conectada a un colector de datos que registra la señal como una forma de onda.

La forma de onda es posteriormente procesada para determinar qué tan grave es la vibración. A través del valor global, se puede medir un promedio del valor de la amplitud de la forma de onda. Esta amplitud puede medirse de tres maneras diferentes:

- Pico – Pico: Se mide desde el valor más bajo de vibración hasta el más alto.
- Pico: Se mide desde cero al valor más alto de vibración.
- RMS: La raíz cuadrada media (RMS, por sus siglas en inglés) es una medida que representa el valor promedio de la amplitud de la forma de onda. Al estar normalizada, esta medida es la más utilizada para establecer valores de alarma, ya que permite eliminar rápidamente eventos anómalos o fluctuaciones momentáneas.

Analizar la frecuencia de las vibraciones sirve para identificar diversos tipos problemas mecánicos. Además, analizar la frecuencia en sus distintas variables (aceleración, velocidad o desplazamiento) proporciona información complementaria. Por ejemplo:

- **Aceleración:** Resalta los componentes de alta frecuencia. Además, es importante destacar que la señal de aceleración puede integrarse matemáticamente para obtener velocidad o desplazamiento, según lo que se requiera en el análisis.
- **Desplazamiento:** Este parámetro es útil para identificar desbalances en componentes rotativos, ya que refleja la acumulación de desplazamientos asociados a las frecuencias de rotación del eje de la máquina.
- **Velocidad:** Este parámetro se relaciona directamente con el potencial destructivo de la vibración. Regularmente, el valor RMS de la velocidad (medido en un rango de 10 a 10,000 Hz) se considera el indicador más fiable para evaluar la severidad vibracional.

El análisis de vibraciones permite anticipar fallas en maquinarias y estructuras, incluso antes de que el daño sea identificado por el personal de mantenimiento. Es fundamental aplicar este tipo de análisis con las herramientas adecuadas y en el momento oportuno para aumentar la vida útil de los equipos.

2.1.3 Transformada rápida de Fourier (FFT)

La Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) es un método fundamental para el análisis de señales. Descompone una señal en sus componentes espectrales individuales, proporcionando información detallada sobre su composición. Esta técnica se utiliza en el análisis de fallas, el control de calidad y la monitorización del estado operativo de máquinas o sistemas.

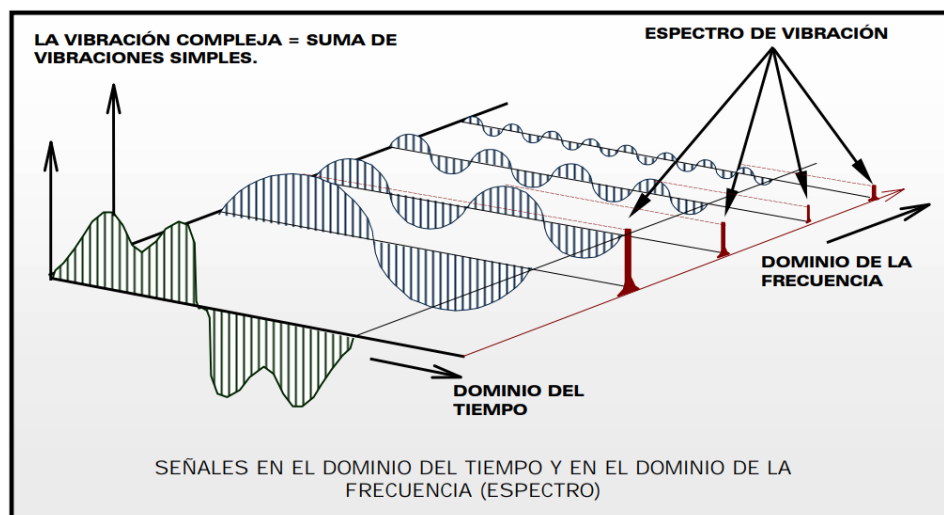
La FFT es un algoritmo optimizado para ejecutar la "Transformación discreta de Fourier", o DFT. En este proceso, una sección limitada en el tiempo de una señal

se descomponen en sus elementos constituyentes. Estos elementos son oscilaciones sinusoidales simples a frecuencias discretas, cuya amplitud y fase están determinadas. El FFT permite así la vista de una señal en el dominio de la frecuencia (A-MAQ S.A, 2005).

En el campo del análisis de vibraciones la transformada rápida de Fourier se utiliza para descomponer la forma de onda captada en sus componentes frecuenciales. De esta manera, se obtiene el espectro de vibraciones, el cual muestra las frecuencias presentes en la señal original.

Figura 4

Señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia



Fuente: A - MAQ Análisis de maquinaria.

2.1.4 Strain gage

Una galga extensométrica o strain gage, es un sensor que mide los cambios relativos en la longitud de un material (deformación) como consecuencia de las fuerzas aplicadas sobre él. La deformación puede registrarse como una compresión o una extensión, lo que indica si el material está siendo comprimido o estirado, respectivamente.

Las galgas extensométricas se emplean para medir la magnitud y dirección de la deformación. Esta se determina a partir de una relación proporcional entre la variación de la resistencia eléctrica de la galga extensométrica con respecto a su resistencia nominal y su sensibilidad. Cuando el material presenta compresión, la resistencia eléctrica disminuye; en cambio si presenta elongación, la resistencia eléctrica se incrementa.

Para determinar las tensiones en un material (análisis experimental de tensiones), los valores de deformación se relacionan con las propiedades físicas del mismo, como el módulo de elasticidad o de Young (ley de Hooke).

Strain se define como la cantidad de deformación que experimenta un objeto en comparación con su tamaño inicial.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Stress o Tensión, se define como la fuerza aplicada por unidad de área.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

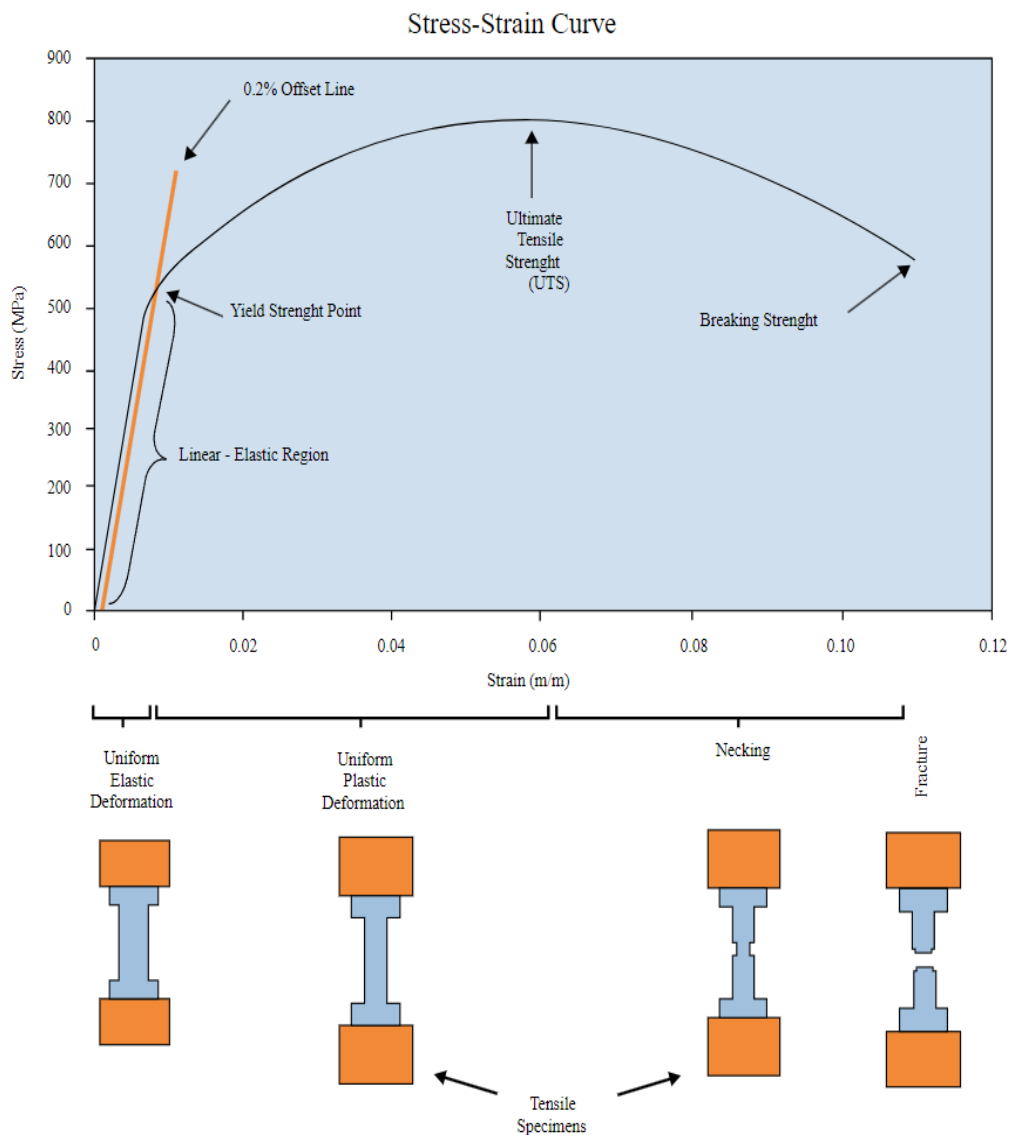
La tensión también puede calcularse multiplicando el strain (ε) por el módulo de Young (E).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

Estas ecuaciones demuestran que, mediante un sensor de deformación (strain gages), se puede encontrar las tensiones y las fuerzas presentes en una estructura, conociendo el módulo de Young del material del que está compuesta. Esto proporciona información importante sobre la condición de la estructura que se desea analizar.

Figura 5

Diagrama de stress vs strain



Fuente: DEWESoft.

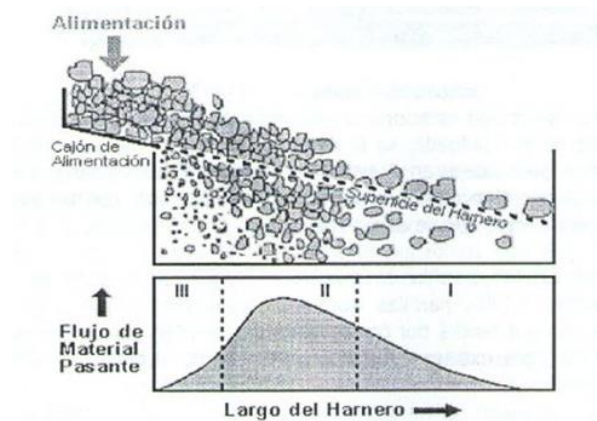
2.1.5 Variables de operación al sistema Scada o DSC

Para el monitoreo de los procesos, muchas plantas industriales cuentan con sistemas SCADA o DCS. Estos sistemas registran y almacenan datos de los diferentes procesos de la planta, los cuales son de gran utilidad para el seguimiento de condiciones operativas. Por ello, disponer de estos datos resulta fundamental para realizar análisis técnicos y tomar decisiones informadas.

En el caso de las estructuras de zarandas, la cantidad de material suministrado a la zaranda afecta de manera indirecta a la estructura. Dependiendo de la cantidad de material suministrado y del funcionamiento de las zarandas, se ve influenciado el nivel de vibraciones de la estructura.

Figura 6

Flujo de material en zaranda



Fuente: DEWESoft.

2.1.6 DEWESoft

Figura 7

DEWESoft logo



Fuente: DEWESoft.

DEWESoft es una empresa dedicada al diseño y desarrollo de sistemas de adquisición de datos. El software funciona como un sistema de adquisición de datos que puede registrar y analizar múltiples señales al mismo tiempo y de manera sincronizada.

2.1.7 MQTT

Figura 8

MQTT logo.



Fuente: MQTT. <https://mqtt.org/assets/downloads/mqtt-logo.png>.

MQTT es el protocolo de mensajería más comúnmente utilizado en el Internet de las Cosas (IoT). MQTT son las siglas de MQ Telemetry Transport (Transporte de Telemetría MQ). Este protocolo define las reglas mediante las cuales los dispositivos IoT pueden publicar y suscribir datos a través de Internet. El protocolo se basa en eventos y conecta dispositivos utilizando el patrón de publicación/suscripción (Pub/Sub). El emisor (Publisher) y el receptor (Subscriber) se comunican mediante topics y están desacoplados entre sí. La conexión entre ellos es gestionada por el broker MQTT, que filtra todos los mensajes entrantes y los distribuye correctamente a los suscriptores (HiveMQ, s.f.).

MQTT ha sido diseñado para ser simple y no consumir muchos recursos. Se creó pensando en el envío de pequeñas cantidades de datos a través de redes poco fiables, con un ancho de banda y una conectividad limitados. En comparación con otros protocolos, MQTT ocupa poco espacio en el código, tiene poca sobrecarga y consume poca energía. Debido a su mínima sobrecarga de paquetes, MQTT es una opción más eficiente que protocolos como HTTP en transferencias de datos por cable. Esto también lo hace ideal para su implementación en dispositivos con potencia de procesamiento, memoria y duración de la batería limitadas, como sensores y otros dispositivos IoT (MQTT, 2024).

El protocolo MQTT funciona mediante el intercambio de una serie de paquetes de control MQTT (MQTT Control Packets) de una manera definida.

Tabla 2

Estructura de control de paquetes de MQTT

Fixed header, presente en todos los MQTT Control Packets
Variable header, presente en algunos MQTT Control Packets
Payload, presente en algunos MQTT Control Packets

Fuente: OASIS MQTT Versión 3.1.1.

MQTT utiliza un formato de mensaje binario para la comunicación entre clientes y brokers.

Fixed header.

Tabla 3

Ilustración de fixed header

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT Control Packet type				Flags specific to each MQTT Control Packet type			
byte 2..	Remaining Length							

Fuente: OASIS MQTT Versión 3.1.1.

El formato binario utilizado por MQTT está diseñado para reducir el tamaño de los mensajes y aumentar la eficiencia de la comunicación. Al emplear un formato binario, el protocolo puede minimizar la cantidad de datos que deben transmitirse y reducir la potencia de procesamiento necesaria para interpretar los mensajes. Esto hace que MQTT sea muy adecuado en entornos con poco ancho de banda o baja potencia, como los dispositivos IoT con recursos limitados (MQTT, 2024).

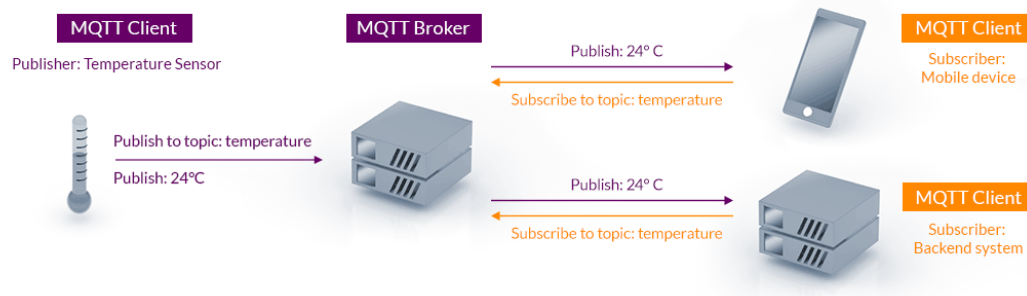
En general, el protocolo MQTT ofrece los siguientes beneficios:

- Requiere pocos recursos del sistema.
- Optimiza el ancho de banda.
- Comunicación bidireccional.
- Escalable para la conexión con múltiples dispositivos IoT

- Mecanismos de seguridad activa

Figura 9

MQTT Publish / Subscribe arquitectura



Fuente: MQTT. <https://mqtt.org/assets/img/mqtt-publish-subscribe.png>

2.1.8 SFTP

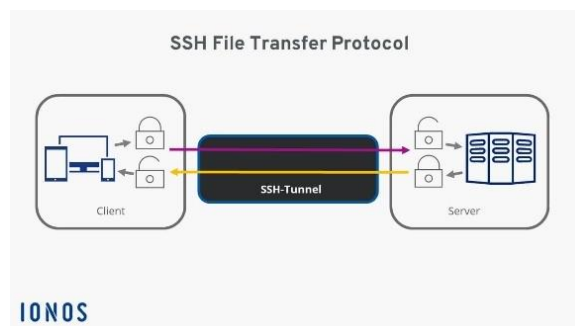
SSH File Transfer Protocol, abreviado como SFTP (en español: Protocolo Seguro de Transferencia de Archivos), garantiza la transferencia de datos cifrados entre los sistemas del cliente y el servidor, en ambas direcciones, a través de una única conexión. Esto se logra cifrando tanto los datos de la conexión del receptor como los datos transferidos mediante claves basadas en el protocolo Secure Shell (IONOS Digital Guide, 2023).

El protocolo de transferencia SSH se desarrolló con la finalidad de mejorar la protección de la transferencia de datos a través del protocolo FileTransfer Protocol (FTP). Este protocolo es responsable de la autenticación segura de los puntos de comunicación. Cuando un cliente inicia una sesión, el servidor verifica la identidad del cliente a través de SSH. La autenticación mutua se lleva a cabo mediante certificados y el método de cifrado asimétrico, basado en claves públicas y privadas. El acceso se autoriza si la "llave" del cliente SFTP coincide con el "candado" del servidor SFTP, y el servidor verifica si el cliente ha iniciado la conexión con la "llave correcta" (IONOS Digital Guide, 2023).

Un requisito para que funcione una conexión con el protocolo de transferencia de archivos SSH (SFTP) es tener acceso SSH en el servidor de alojamiento. Con este acceso, los datos de inicio de sesión están disponibles para el usuario de SFTP: dirección del servidor, nombre de usuario y contraseña. Estos datos se registran en el programa SFTP utilizado por el cliente. Al establecer la conexión por primera vez, se muestra una clave para su verificación, la cual queda guardada en el programa FTP para futuros accesos. De esta manera, el cliente se autentica con el servidor en cada establecimiento de conexión. Si, durante esta comunicación, una parte o incluso un atacante se "identifica" sin la clave correcta o con una incorrecta, la conexión se interrumpe inmediatamente (IONOS Digital Guide, 2023).

Figura 10

SSH File Transfer Protocol (SFTP)



Fuente: IONOS.

<https://www.ionos.com/digitalguide/fileadmin/DigitalGuide/Schaubilder/diagram-of-sftp-data-transfer.jpg>

Entre el cliente y el servidor, y viceversa, existe el denominado túnel SSH, a través del cual se realiza la autenticación y la transferencia de datos. Este túnel se mantiene cifrado de forma permanente, lo que impide que cualquier atacante acceda a los datos y garantiza que lleguen al receptor sin manipulación. Si un atacante intenta alterar los datos durante la transferencia, el protocolo SSH identifica la manipulación y finaliza la conexión de forma inmediata.

El protocolo de transferencia de archivos SSH (SFTP) protege contra los siguientes riesgos:

- Modificaciones de la dirección IP de un paquete de datos (IP spoofing).
- Redirección maliciosa mediante manipulación DNS (DNS spoofing), que desvía el nombre del servidor original hacia la dirección IP de un atacante.
- Captura de credenciales cifradas durante la transmisión por parte de un atacante.
- Alteración maliciosa de archivos transmitidos.

2.1.9 Extensión BAT.

'Bat' es la abreviatura de 'batch file' o 'archivo por lotes', consiste en un scrip de texto que ejecuta comandos secuencialmente, con el propósito de automatizar tareas que demandan una secuencia extensa de comandos. De esta manera, al utilizar un archivo .bat, bastará con escribirlo una vez para ahorrar tiempo y evitar errores tipográficos (Merino, 2021).

Crear un archivo .bat se puede realizar desde cualquier editor de texto, se puede realizar desde el bloc de notas cambiando la extensión “.txt” por “.bat” .

2.1.10 Extensión VBS.

VBS es un archivo de texto que contiene código fuente escrito en Visual Basic. Un archivo VBS es un archivo ejecutable en Windows y, por lo tanto, debe tratarse con precaución, ya que podría contener código malicioso (File.extension, 2022).

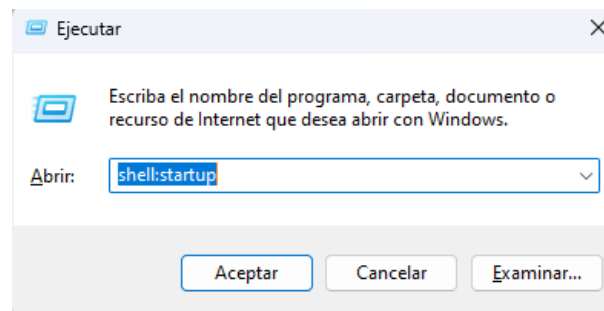
Crear un archivo VBS se puede realizar desde cualquier editor de texto, como el bloc de notas de Windows. Solo es necesario cambiar la extensión .txt con las extensiones “.vbs” y se procede a guardar el archivo.

Al guardar el archivo VB en la siguiente carpeta de Windows: 'C:\Users\AppData\Roaming\Microsoft\Windows\Start Menu\Programs\Startup' el archivo se ejecutará automáticamente al encender la maquina en la cual esta guarda.

Se puede entrar a la carpeta mediante el comando 'Shell: startup' en el ejecutable de Windows.

Figura 11

Ejecutable de Windows con comando shell: startup



Fuente: Elaboración propia.

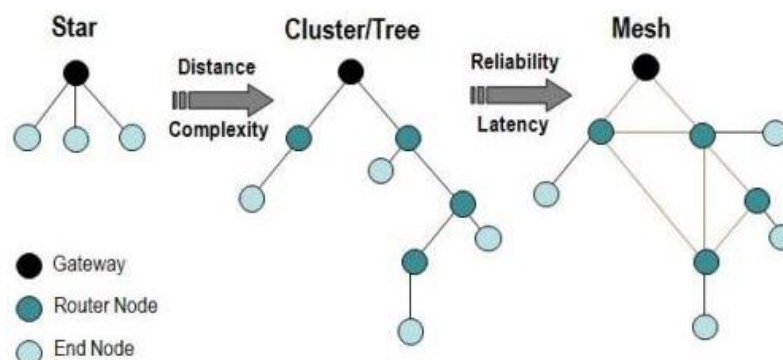
2.1.11 Topologías de RED

La topología de red se refiere a la disposición de diversos componentes que conforman una red. La topología de red ilustra cómo fluyen los datos de un red de dispositivos (HPE aruba networking, 2025).

Los nodos típicamente están organizados en tres tipos de topologías de red, las cuales se pueden apreciar en la Figura 12: estrella (Star), árbol (Cluster/Tree) y malla (Mesh) (Pérez et al., 2010).

Figura 12

Tipos de topologías de red



Fuente: Wireless Sensor Networks.

Topología estrella: Cada nodo se conecta directamente al gateway.

Topología Árbol: Cada nodo se conecta con otro de nivel jerárquico superior y posteriormente con el gateway.

Topología Malla: Los nodos pueden conectarse a varios nodos en el sistema y elegir el camino de datos disponible de mayor confiabilidad.

2.1.12 Acero estructural ASTM A36

El acero A36 es uno de los materiales más usados para aplicaciones estructurales. Considerado como acero al carbón estructural, fue desarrollada en Estados Unidos y fue denominado A36 por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Las propiedades físicas del acero A36 lo hacen resistente en varios aspectos, como el aspecto mecánico, químico y térmico.

Mecánico: Presenta elevada resistencia mecánica, con gran elasticidad. Además, posee una excelente fusibilidad, lo que facilita el modelado de metales, así como una buena soldabilidad, que permite uniones sin defectos ni irregularidades.

Químicas: A medida que aumenta el porcentaje de contenido de carbono, también lo hacen la resistencia y la dureza del material. En el caso del acero A36, su porcentaje de carbono es moderado, por lo cual lo convierte en una aleación más flexible en comparación con otros tipos de acero.

Térmico: Posee buena conductividad térmica, lo que permite la transferencia de calor y el paso de energía eléctrica con eficiencia. Asimismo, presenta la capacidad de dilatación térmica, lo que implica que sus dimensiones se incrementen en función del aumento de la temperatura a la que está expuesto.

Tabla 4*Propiedades mecánicas*

DESIGNACIÓN ASTM	Grade	Lim. Elástico	Resistencia a	Alargamiento		Resiliencia	
		(N/mm)	Tracción (Rm)	(Min)		(Min)	
		Min Mpa	Mpa.	%		C°	J
				8"	2"		
A36 / A 36M - 94	-	250	400 - 550	20	23	-	-
A 283 / A 283M - 93	C	205	380 - 515	22	25	-	-
A 529 / A 529M -94	50	345	485 - 690	18	21	-	-
A 573 / A 573M - 93	70	290	485 - 620	18	21	-	-

Fuente: Normas Americanas ASTM.

2.1.13 Pernos estructurales A490

Son pernos estructurales hexagonales pesados, fabricados en acero aleado templado, con diámetros que van desde 1/2" hasta 1-1/2" y una resistencia mínima a la tracción de 150 ksi. Están diseñados para aplicaciones en uniones estructurales, por lo que cuentan con una longitud de rosca más corta que la de los pernos hexagonales convencionales.

Tabla 5*Propiedades mecánicas A490*

Tamaño	Resistencia a la tracción, ksi	Límite elástico, ksi	Elongación. %, min	RA %, min
1/2 - 1-1/2	150 - 173	130	14	40

Fuente: Normas Americanas ASTM 490.

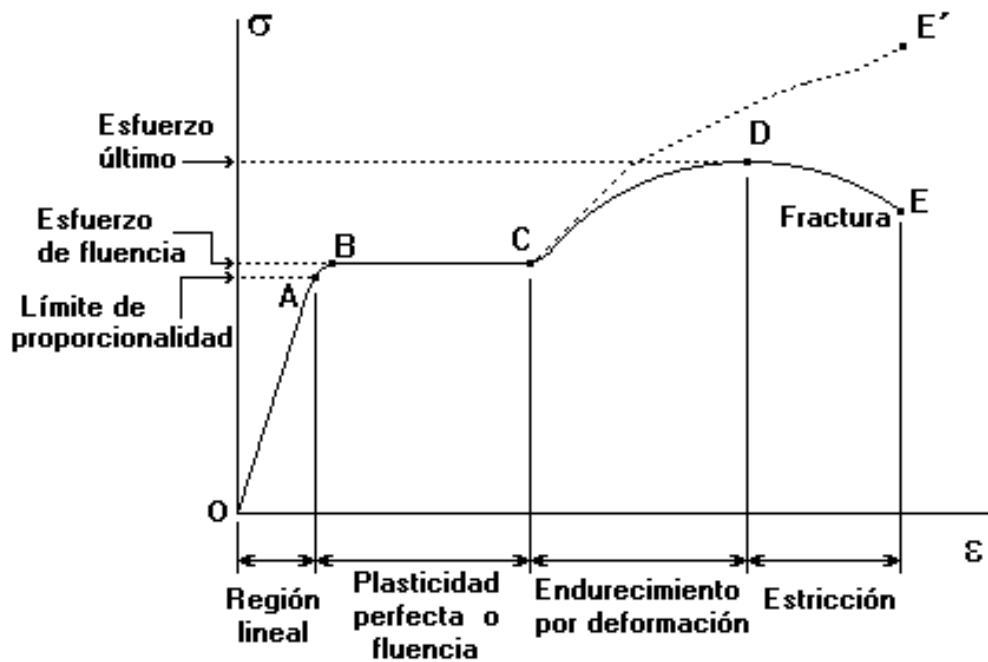
2.1.14 Limite elástico o limite de fluencia

El límite de fluencia marca el término de la zona elástica y el comienzo de la zona plástica. Esto implica que, una vez superado esta zona, el material sufrirá una deformación permanente e irreversible (Callister & Rethwisch, 2016).

En general, los componentes y estructuras dejan de ser seguros para usarse incluso si el límite de fluencia se excede únicamente en una zona localizada o de manera parcial (Zwick Roell, s.f.).

Figura 13

Curva esfuerzo - deformación unitaria del acero en tracción



Fuente: Maria Jose Acevedo Monterrosa. "Ensayo de tracción de probetas metálicas".

2.1.15 GO

Go es un lenguaje de programación libre, fácil de aprender, seguro y escalable, desarrollado por Google. Es un lenguaje adecuado para construir aplicaciones que necesitan manejar un alto volumen de solicitudes concurrentes (GO, s.f.).

Figura 14

Logo de lenguaje de programación GO



Fuente: GO <https://go.dev/>.

2.1.16 Operation Deflection Shape (ODS)

El análisis de formas de deflexión operativa (ODS, por sus siglas en inglés) es un método para visualizar la dinámica del objeto bajo fuerzas auto excitadas. Este método permite identificar dónde se mueve la máquina con el máximo desplazamiento, velocidad o aceleración, y qué frecuencias de excitación causan estos problemas. Es una herramienta útil para el diagnóstico de fallas y para el desarrollo de nuevos componentes o máquinas completas (Pavel et al., 2019).

El método se basa en la medición experimental de funciones de respuesta en frecuencia (FRF, por sus siglas en inglés), e interpretándolas como una animación de un modelo geométrico simplificado que representa la muestra examinada. El principio de este método se divide en dos fases. La primera fase representa la medición de la FRF, es decir, en la determinación de las magnitudes de vibración en puntos característicos individuales y de las fases mutuas (generalmente con una señal de referencia). El siguiente paso es la creación de una animación que ilustra la forma de vibración durante la excitación por una frecuencia seleccionada o por la combinación de varias frecuencias. El movimiento de la estructura suele ser amplificado y ralentizado en la visualización para que sea adecuado para la inspección visual (Torres, 2022).

2.2 Marco conceptual: Definición de términos o conceptos

- a) Ruido:** Interferencia o señal no deseada que se incorpora a la señal útil que se desea transmitir.
- b) Protocolo:** Sistema de reglas que permite la comunicación entre dos o más entidades dentro de un sistema para el intercambio de información.
- c) Emisor:** Quien transmite la información.
- d) Receptor:** Quien recibe la información.

- e) **Data:** Paquete de información de las señales medidas mediante los instrumentos utilizados.
- f) **Espectro de vibraciones:** Gráfico utilizado para visualizar las frecuencias a las que vibran las máquinas y estructuras analizadas.
- g) **Backend:** Sistema que recoge información de usuarios u otros sistemas de tratamiento de datos.
- h) **Archivos de datos:** Datos sin procesar obtenidos por el sistema de monitoreo.

CAPITULO III

3. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Componentes físicos

3.1.1. IOLITE 3xMEMS – ACC

Sensores integrados para medir vibraciones, inclinación, velocidad, desplazamiento, cabeceo y balanceo. La aceleración se mide a través de un acelerómetro triaxial MEMS integrado en el dispositivo. Además, el sensor tiene integrado un conversor analógico-digital (ADC) de tal manera que se elimina el ruido por cableado (Dewesoft, s.f.).

El sensor es fácilmente escalable, además, con el uso de un maestro EtherCAT, se pueden realizar ramificaciones, lo cual aumenta la capacidad de sensores que pueden estar conectados simultáneamente.

Figura 15

IOLITE 3xMEMS – ACC



Fuente: DEWESoft.

Las unidades IOLITE 3xMEMS ACC están diseñadas para ofrecer una solución específica para el monitoreo de la salud estructural. Son ideales para la supervisión continua del estado de grandes estructuras, como puentes, edificios, estadios o maquinaria de gran tamaño (Dewesoft, s.f.).

Tabla 6*Características de acelerómetro mem's*

Características	3x MEMS – ACC – 8g
Rango	+/- 8g
Max. Frecuencia de muestreo	4 kS/s
Error lineal	0.1 % FS
Rango dinámico	96 dB
Error de ganancia calibrada	+/- 0.2%
Protección	IP 67
Consumo de energía	1300 mW
Voltaje de operación	12 – 48 V
Temperatura de operación	-20 °C hasta 65 °C

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Strain gages lineales – CEA-06-250UW-350

Un strain gage o galga extensométrica es un sensor con un rango amplio de aplicaciones y tareas de medición. Este dispositivo mide deformación, presión, carga, torque, entre otros. Los materiales que se pueden evaluar son: acero, hierro fundido, compuestos y PCB (Sosa, 2013).

Figura 16*Strain gage lineal*

Fuente: AutoCore Robótica.

Tabla 7*Características del strain gage lineal*

Características	Strain gage lineal
Tipos de sensor	Strain gage resistivo
Rango de medición	10 – 1.1K μ strain
Sensibilidad	1.5 mV/V para 1K μ strain
Resistencia del puente	350 Ω (nominal)
Voltaje de excitación	2 V DC

Potencia eléctrica	1500 mV
Temperatura de operación	-75 a 175 °C
Grado de protección IP	IP67
Humedad de operación	0 a 100%
Tipo de montaje	Empotrado en estructura

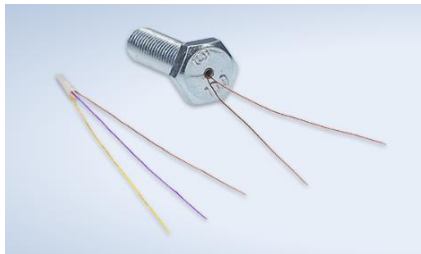
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Strain gages de perno – LB11

LB11 es un strain gage cilíndrico diseñado específicamente para medir deformación, fuerza y vibración en tornillos, pernos y otros elementos constructivos axiales. Equipada con cables de cobre, puede usarse directamente en elementos de perno previamente perforados, requiriendo para su instalación un orificio de 2 mm en la estructura (Hottinger Brüel & Kjær AER, s.f.).

Figura 17

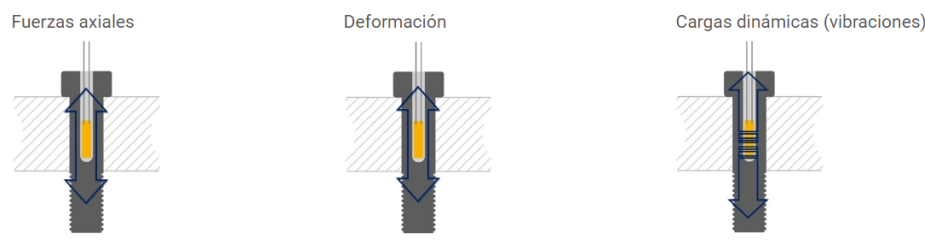
Strain gage de perno - LB11



Fuente: HBK.

Figura 18

Aplicaciones típicas de la LB11



Fuente: HBK.

Tabla 8

Características del strain gage de perno

Características	Strain gage lineal
Tipos de sensor	Strain gage resistivo
Resistencia nominal	120 Ω
Tolerancia de resistencia	0.35 %
Diámetro	0.2 mm
Longitud	60 mm
Factor de galga	2.04
Tolerancia de factor de galga	1%
Temperatura de operación	-200 a 140 °C
Sensibilidad transversal	1.3 %
Humedad de operación	0 a 100%

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. IOLITEi – 1xSTG

IOLITEi-1xSTG es un amplificador de galga extensométrica de un solo canal con configuraciones internas de cuarto, medio y puente completo. Cuenta con fuentes de excitación de voltaje y corriente de bajo ruido, con niveles ajustables libremente. Los rangos de entrada varían desde 50 V hasta 100 mV. Los datos se transfieren a través de EtherCAT a una PC que ejecuta un software potente y fácil de utilizar (Dewesoft, s.f.).

Figura 19

Amplificador de galga extensiométrica IOLITE STG



Fuente: DEWESoft.

Tabla 9**Características IOLITEi - 1Xstg**

Características	IOLITEi – 1xSTG
Tipos de entradas	Voltaje, corriente, puente completo strain, medio puente strain, cuarto puente strain
Numero de canales	1
Tipo de conector	DB9
Tipo de convertidor analógico digital	24-bit SAR con filtro anti-aliasing
Tasa de muestreo	40 KS/s
Rango de voltaje	$\pm 50\text{ V} / \pm 10\text{ V} / \pm 1\text{ V} / \pm 100\text{ mV}$
Rango de corriente	2 mA / 20 mA
Consumo de energía	2.5 W
Grado de protección	IP20

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. IOLITEd-PWIn

IOLITE-Power-Injector es un inyector de energía PoE pasivo. Combina una fuente de alimentación de 12-48 V CC y la comunicación EtherCAT en un solo cable CAT6. Los dispositivos IOLITE requieren el Power Injector como primer dispositivo de la cadena (Dewesoft, s.f.).

Se utiliza para enviar datos simultáneamente y proporcionar energía a través de Ethernet a dispositivos conectados en lugares donde no se disponga de energía CA o CC. Siempre envía corriente eléctrica a través del cable Ethernet a una tensión determinada; esto permite incrementar la distancia entre sensores y la cantidad de los mismos que se pueden conectar linealmente (Dewesoft, s.f.).

Figura 20

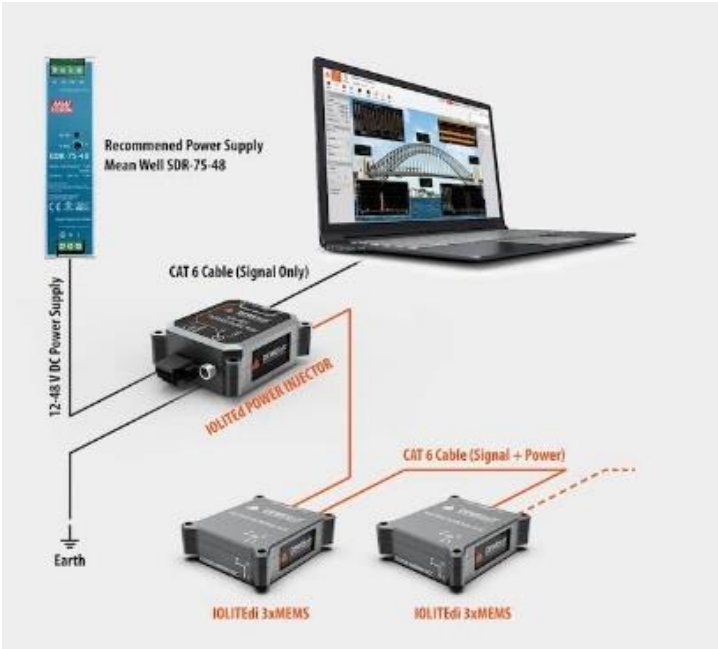
IOLITEd – PWIN



Fuente: DEWESoft.

Figura 21

Conexión Power Injector



Fuente: DEWESoft.

Tabla 10

Capacidad del IOLITEd – PWIN

Características	IOLITE – POWER – INJECTOR
Interfaz digital	EtherCAT
Conector EtherCAT	RJ45
Conector de energía	Wire terminal, 2mm Jack
Consumo de energía	< 500 mW

Voltaje de alimentación	12 – 48 V
Temperatura de operación	-20 ... 60 degC
IP rating	IP 20

Fuente: DEWESoft.

3.1.6. *Media converte*

El media converte es un convertidor de medio de fibra óptica a Ethernet. El funcionamiento de un media converter consiste en recibir señales de datos de un determinado medio y transmitir las por otro medio diferente. Este tipo de dispositivo se aplica ampliamente en redes Ethernet de fibra óptica para conectividad industrial (FS, 2021).

Figura 22

Media converter



Fuente: MediaTech.

Tabla 11

Características media converter – CK1021

Características	Media converter – CK1021
Estándar de operación	Compliant with IEEE802.3/802.3u standard
Voltaje de alimentación	DC 12 – 48V
Protección	IP40 EMC case
Fibra ópticas	800Mbps
Máxima distancia de transmisión	120km

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. *ECAT Hub 8 CU1128*

La función de un EtherCAT maestro es actuar como un dispositivo que envía un telegrama a cada nodo conectado, de tal manera que cada dispositivo EtherCAT esclavo conectado aguas abajo lee los datos direccionados a él e inserta sus datos en la trama del siguiente dispositivo aguas abajo. Este proceso continúa hasta que se detecta un puerto abierto y el mensaje total se envía al maestro. Esto permite sincronizar varias tramas de dispositivos EtherCAT en un solo mensaje captado por el EtherCAT maestro (EtherCAT, 2018).

BECKHOFF proporciona un EtherCAT maestro llamado ECAT HUB 8 CU1128 el cual cuenta con una Infraestructura de 8 puertos de unión, 100 Mbit/s, 24 V DC, RJ45. EtherCAT es compatible con casi cualquier topología como Lineal, Árbol o Estrella. Si una topología en estrella requiere varios ramales en un punto determinado, se puede utilizar la unión EtherCAT CU1128 de 8 vías en lugar de varios dispositivos EK1122. El puerto 1 actúa como puerto de entrada de la red y se pueden conectar más módulos EK1100 o EtherCAT Box en los puertos 2 al 8. Las uniones EtherCAT se conectan a través de conectores RJ45, con visualización directa del estado de enlace y actividad (EtherCAT, 2018).

Figura 23

Hub de 8 puertos para la sincronización de sensores



Fuente: BECKHOFF.

Junto con TwinCAT u otros maestros EtherCAT compatibles, el CU1128 también admite el acoplamiento y desacoplamiento de hilos EtherCAT durante el funcionamiento (Hot Connect). El dispositivo no puede utilizarse como un conmutador Ethernet estándar (EtherCAT, 2018).

Tabla 12

Características del Hub con 8 puertos ethernet

Características	CU1128
Medio de transferencia de data	Ethernet/EtherCAT cable (min. Cat.5), shielded
Bus interface	8 x RJ45
Distancia entre estaciones	max. 100 m (100BASE-TX)
Protocol	EtherCAT
Delay	aprox. 1 μ s por puerto
Tasa de transferencia de data	100 Mbit/s
Voltaje de alimentación	24 (18...30) V DC, 3-pin de conexión (+, -, PE)
Consumo de corriente 24 V DC	typ. 185 mA
Dimensiones (Anc x Alto x P)	122 mm x 100 mm x 38 mm
Temperatura de operación	-25...+60 °C/-40...+85 °C
Humedad relativa	95 %, sin condensación
Resistencia a vibración	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protección.	IP20/variable

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Pc – Axiomtek – EBOX671-521-FL

El eBOX671-521-FL es un sistema integrado de computación GPU que cuenta con 4 canales PoE y una ranura MXM 3.1 tipo A, diseñado para aplicaciones de visión artificial, computación perimetral, visión de tráfico, aprendizaje profundo e inteligencia artificial de las cosas.

Figura 24

Computadora industrial Axiomtek



Fuente: Axiomtek

Tabla 13

Características de la computadora industrial eBOX

Technical data	eBOX671-521-FL
CPU	Intel® Core™ i5 – 8365UE
RAM	8 Gb, expandible hasta 32 Gb
SSD	1 Tb
Interface digital	EtherCAT
Conectores EtherCAT	RJ45
Voltaje de operación	9 – 36 V DC
Temperatura de operación	-20 ... 65 degC

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Propuesta de diseño de la estructura de monitoreo

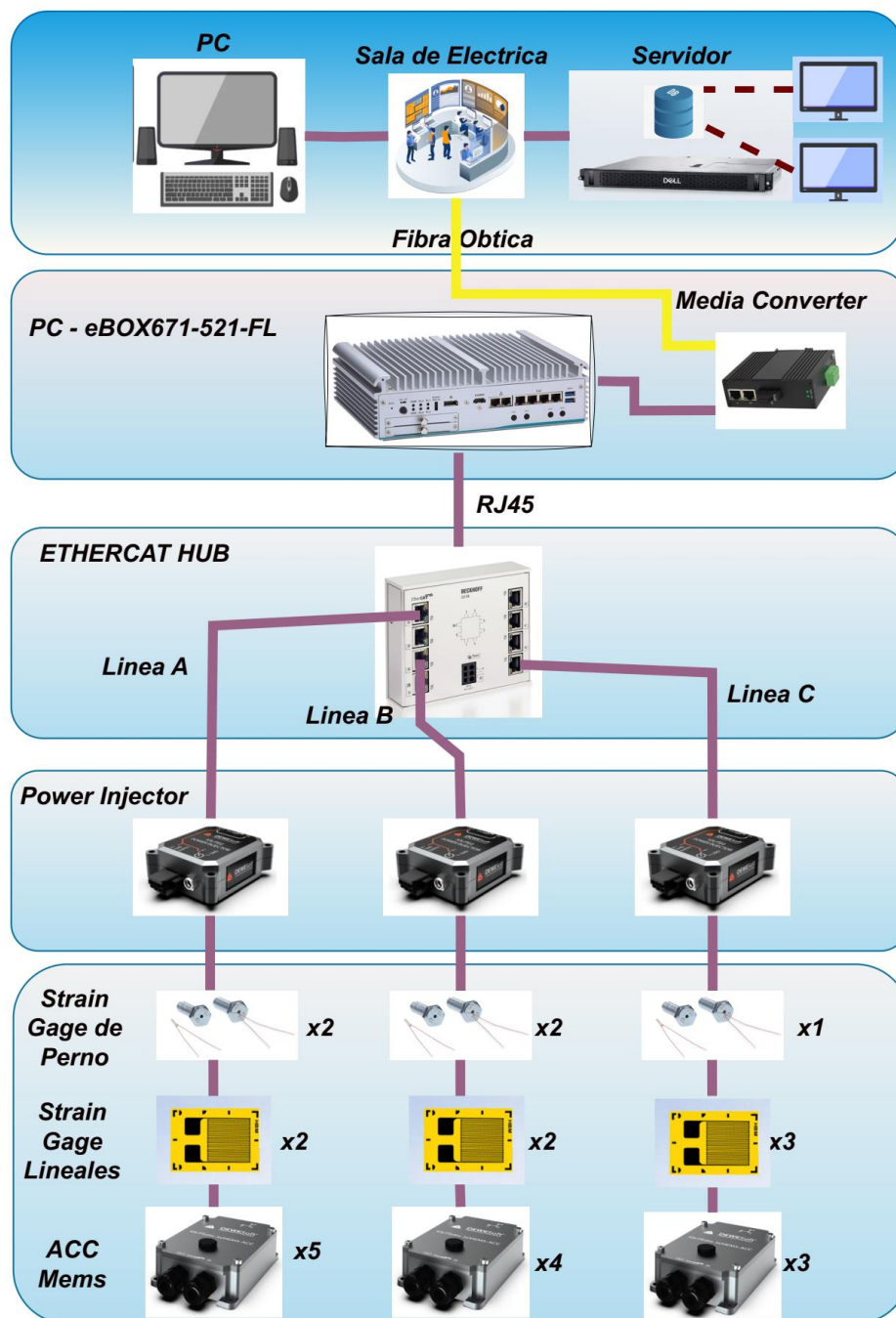
El esquema general del sistema de monitoreo continuo de la estructura de zarandas se muestra en la Figura 25.

En esquema muestra un diagrama de flujo de los equipos que serán conectados para llevar a cabo el sistema de monitoreo. Este sistema está conformado por los sensores mem's, strain gages lineales y strain gages de perno, los cuales se encuentran conectados en línea en tres ramas llamas Línea A, Línea B y Línea C. Cada línea cuenta con un Power Injector, el cual se encarga de alimentar todos los sensores presentes en su rama. las señales de las tres líneas se conectan al Hub, permitiendo que toda la información llegue al computador mediante un solo cable de red.

Además, gracias al media converter, se proporciona conexión a internet y se establece un enlace con la sala eléctrica. Esta sala es el lugar donde se encuentran los equipos encargados de monitorizar todos los procesos que se llevan a cabo en la planta. De esta manera, el sistema de monitoreo se integra al área de monitoreo de la planta.

Figura 25

Diagrama de general de conexión de equipos y sensores



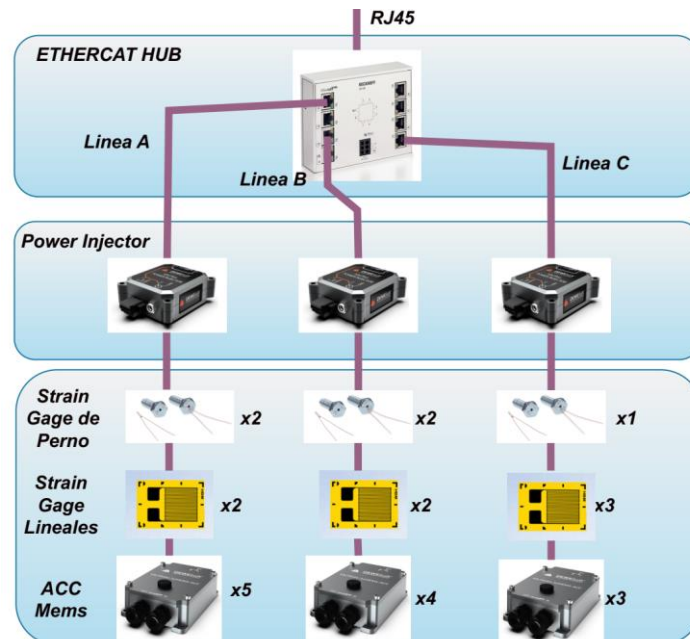
Fuente: Elaboración propia.

La topología de red de sensores utilizada en la propuesta de diseño de la estructura de monitoreo se basa en la Topología de árbol debido a que de esta manera es más factible llevar los sensores a las distintas zonas de interés para la medición en la estructura de zaranda, cada sensor de una misma línea se conecta en serie con el anterior y el siguiente lo cual minimiza la longitud de cableado utilizado. Además, ante el inconveniente de desconexión de algún sensor, se perdería la conexión de los sensores que se encuentran después de este dentro de la misma rama, sin afectar a las demás. De esta manera, solo se pierde temporalmente un porcentaje de los datos correspondientes a una zona específica de la estructura de zaranda, hasta que se restablezca la conexión del sensor afectado.

El EtherCAT Hub centraliza la información proveniente de los sensores de las tres ramas y se la envía a la computadora industrial Ebox671, en la cual se encuentra instalado el software de adquisición de datos.

Figura 26

Topología de árbol del sistema de monitoreo



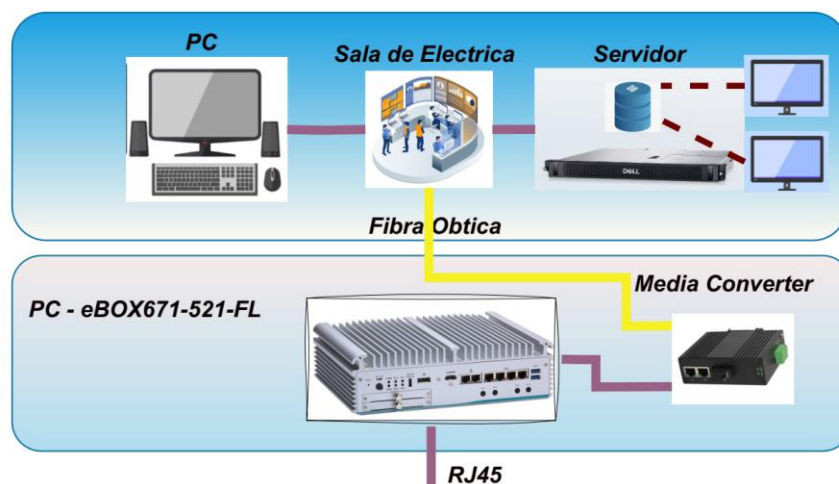
Fuente: Elaboración propia.

El software Dewesoft se encarga de enviar los datos de cada sensor mediante el protocolo MQTT hacia una dirección IP, con el fin de mostrar en pantalla los valores globales de cada sensor y su posición en la estructura de zaranda. Además, también se encarga de grabar archivos de datos cuando se detecte alguna actividad anómala que provoque un aumento en las vibraciones. Estos archivos de datos son enviados a un servidor mediante el protocolo de transferencia SFTP, para ser analizados posteriormente por un ingeniero especialista en vibraciones. Es importante destacar que el análisis de los archivos no forma parte del sistema de monitoreo, sino que es realizado por personal experto en la materia. Los detalles sobre el envío de datos globales y los archivos de datos se estudiarán en profundidad más adelante en el documento.

La computadora recibirá la conexión a la red de internet a través de un media converter. Este dispositivo permitirá la transmisión de la red desde la sala de electricidad mediante fibra óptica. Posteriormente, la señal atravesará el media converter para ser entregada a la computadora mediante un cable UTP.

Figura 27

Sistema de adquisición y transferencia de datos



Fuente: Elaboración propia.

Desde la sala eléctrica, será posible utilizar computadoras con capacidad para conectarse a la computadora eBOX671 mediante la conexión remota de red local. Esto

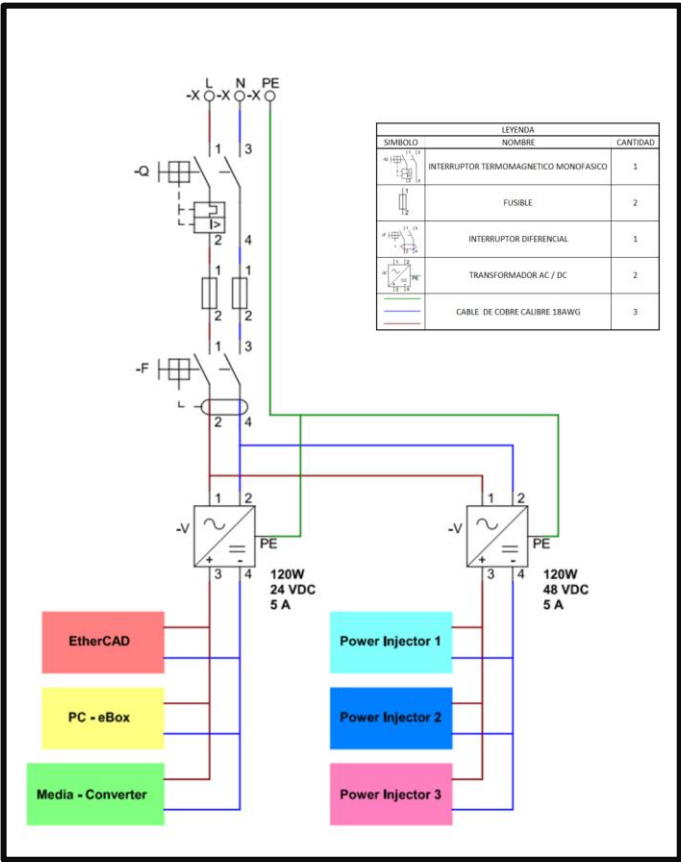
permitirá la visualización de los datos globales transmitidos a través del protocolo MQTT por medio de internet. Asimismo, se podrá descargar los archivos de datos desde el servidor al cual fueron enviados mediante el protocolo SFTP.

3.3. Sistema de alimentación

El Diagrama unifilar de alimentación se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Diagrama unifilar de alimentación.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observar, el sistema de alimentación incorpora un conjunto de elementos de protección compuesto por un interruptor termomagnético bipolar, fusibles y un interruptor diferencial.

La alimentación será suministrada por dos convertidores AC/DC, ambos con una capacidad de 120 W pero con diferente voltaje. El convertidor de 24 V proporcionará

energía al EtherCAT HUB, Ebox671 y al media converter. Por otro lado, el segundo convertidor de 48 V se encargará de alimentar a los tres power injector, los cuales a su vez, suministrarán energía a los sensores de deformación y de aceleración.

Los detalles de los dispositivos de alimentación utilizados se presentan en las siguientes secciones.

3.3.1. Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético es el dispositivo que tiene la función de interrumpir el flujo de corriente eléctrica en el circuito cuando el valor de la corriente supere los límites establecidos.

Figura 29

Interruptor termomagnético



Fuente: Schneider.

Tabla 14

Especificaciones técnicas del interruptor termomagnético

Especificaciones	Int termomagnético 2P – 16 A - RielDin
Marca	Schneider Electric
Modelo	EZ9F56216
Amperaje	2x16 A
Grado de protección	IP20
Frecuencia de operación	50 – 60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Interruptor diferencia

El interruptor diferencial mide la intensidad de corriente eléctrica al inicio y al final del circuito para verificar que ambas sean iguales. De esta manera, interrumpe el suministro eléctrico cuando se detectan desvíos, evitando fugas o descarga eléctricas.

Figura 30

Interruptor diferencial



Fuente: ABB.

Tabla 15

Especificaciones técnicas del interruptor diferencial

Especificaciones	Int diferencial 2P – 25A - RielDin
Marca	ABB
Modelo	AR FH202 AC-25/0.03
Amperaje	2x25 A
Tensión	230V
Sensibilidad	30mA

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Fuente de alimentación 120 W – 24 V 5 A

Fuente de alimentación AC/DC para riel DIN; con salida de 24 V a 5 A y estuche metálico. Esta fuente se utiliza para alimentar los siguientes equipos:

- EtherCAT.
- PC – eBOX.
- Media converter.

Figura 31

Fuente de alimentación Mean Well



Fuente: Mean Well.

Tabla 16

Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación 120 W – 24 V 2.5 A

Ficha técnica	EDR 120 – 24
Voltaje de entrada (V)	110 / 230
Salida de potencia (W)	120
Salida de voltaje (V)	24
Salida de corriente (A)	5
Tecnología	AC / DC

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Fuente de alimentación 240 W – 48 V 5 A

Fuente de alimentación AC/DC para riel DIN, con salida de 48 V a 5 A y estuche metálico. Esta fuente se utiliza para alimentar los siguientes equipos:

- Power Injector1 – Línea A.
- Power Injector2 – Línea B.
- Power Injector3 – Línea C.

Figura 32

Fuente de alimentación 240 – 48 V 5 A



Fuente: Mean Well.

Tabla 17

Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación 120 W - 48 V 5 A

Ficha Técnica	EDR 120 – 24
Entrada de voltaje (V)	110 / 230
Salida de potencia (W)	240
Salida de voltaje (V)	48
Salida de corriente (A)	5
Tecnología	AC / DC

Fuente: Elaboración propia.

La elección de las fuentes de alimentación DC y de los equipos a los que van a alimentar se realizó teniendo en cuenta el voltaje de entrada especificado en la hoja de datos (datasheet) de cada dispositivo.

Tabla 18

Equipos y su voltaje de alimentación

Equipo	Voltaje de alimentación	Fuente seleccionada
EtherCAT	18 – 30 V	Fuente de 24 V
eBOX671	9 – 36 V	
Media converte	12 – 38 V	
Power injector	12 – 48 V	Fuente de 48 V

Fuente: Elaboración propia.

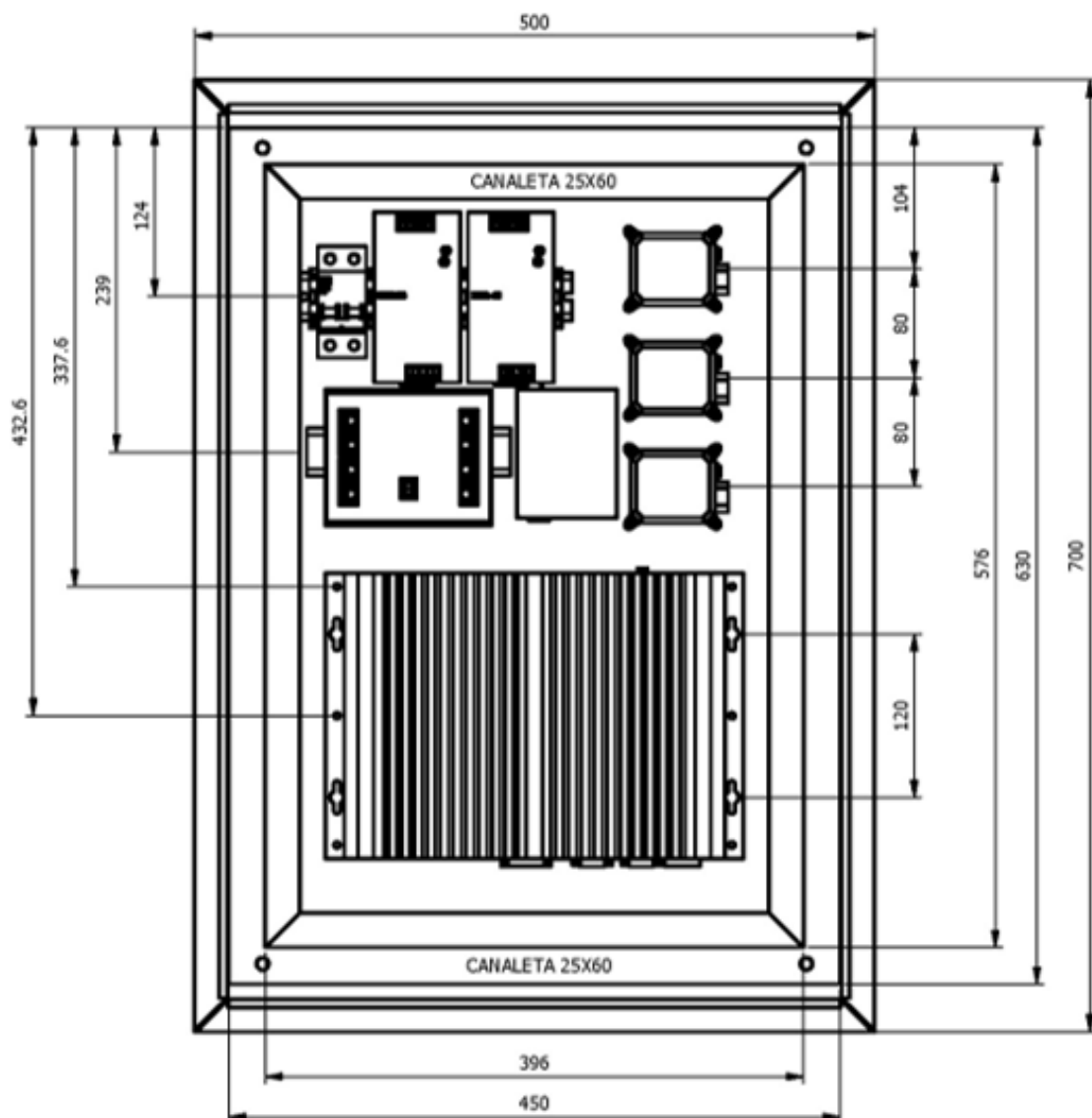
Como se puede apreciar, el Power Injector puede ser alimentado con una fuente de 24 V. Sin embargo, para evitar problemas de pérdida de potencia debido a la extensión de los cables entre los sensores, se ha decidido alimentarlo con el voltaje máximo recomendado en su hoja de datos (datasheet).

3.3.5. Distribución de tablero de control eléctrico

La distribución del tablero de energía se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Distribución de tablero eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

El tablero destinado a almacenar los equipos debe contar con rieles DIN para la colocación adecuada de los dispositivos. Además, se requiere que el material del tablero sea de acero inoxidable (inox), a fin de prevenir la oxidación y proteger los componentes en su interior.

3.4. Criterios de ingeniería para la ubicación de sensores y del tablero eléctrico

Para la determinación de la ubicación de los sensores, se realizó previamente un estudio de vibraciones de la estructura utilizando un equipo móvil de medición de vibraciones. Este equipo permitió identificar las zonas con mayores niveles de vibración. Además, considerando los datos de distribución de carga en las tolvas de alimentación y la experiencia previa en mediciones realizadas en distintas estructuras, se definieron la ubicación óptima y la mejor distribución de los sensores. Todo ello con el objetivo de asegurar un estudio eficiente y un adecuado procesamiento de las señales, orientado al análisis de tendencias de vibración, esfuerzos y al estudio de las formas operativas de movimiento (Operational Deflection Shapes, ODS) de la estructura. Debido a que entre los ejes de las columnas 5 y 7 no se encuentran máquinas, se consideró conveniente no colocar sensores en esa área.

Además, la cantidad de sensores utilizados se definió considerando los criterios mencionados a continuación, así como la capacidad máxima de 10 sensores por rama recomendada por el fabricante de los sensores.

Tabla 19

Cantidad máxima de sensores por power supply

Power Supply voltaje	Cable length device-to- device	Cable size	Max. Number of devices from a single power supply
24 V	1 m	AWG 24	8
24 V	50 m	AWG 24	4
48 V	1 m	AWG 24	12
48 V	50 m	AWG 24	10

Fuente: DEWESoft.

3.4.1. Criterios para la ubicación de tablero eléctrico

- Accesibilidad y seguridad.
- Distancia a fuentes de calor o a vibraciones intensas.
- Distancia mínima hasta los primeros sensores de las tres ramas.

La ubicación del tablero eléctrico, que contiene la computadora industrial y los demás dispositivos para la adquisición de datos y la alimentación de energía, se ha definido en el eje de la columna n.º 5, en la zona inferior de la estructura de zarandas. Esta ubicación fue seleccionada por su fácil acceso a través de las dos entradas disponibles en la estructura. Además, al estar situado en dicha columna, se garantiza una distancia mínima al primer sensor de cada una de las tres ramas, lo que contribuye a evitar problemas de alimentación, pérdida de señal y sincronización entre sensores.

3.4.2. Criterios para la ubicación de sensores mem's en la estructura

- Zonas críticas de vibración.
- Distribución óptima para el estudio de las formas de movimiento.
- Distribución simétrica alrededor de las tolvas.

Se colocaron los sensores en los puntos de mayor amplitud dinámica para captar las condiciones reales de operación; por esta razón, se instalaron en el nivel superior de la estructura. Además, se ubicó un sensor en cada eje de columna que rodea las tolvas de alimentación, distribuidos de manera intercalada entre las filas D y E, como se aprecia en la Figura 36. Esta disposición garantiza una cobertura simétrica y equilibrada, lo que permitirá obtener datos de mejor calidad y representatividad para el estudio de la forma de movimiento (ODS), ya que, de esta manera, se obtiene información real tanto de la parte frontal como de la posterior de la estructura.

3.4.3. Criterios para la ubicación de galgas extensométricas lineales

- Vigas con mayor esfuerzo.

- Posición de mayor deformación en la viga.

Las vigas en las que se instalaron las galgas extensométricas lineales corresponden a los ejes de columnas n.º 1, n.º 5 y n.º 8. Estas vigas soportan a las tolvas que contienen la mayor cantidad de material debido a la distribución desigual del carro de alimentación. Además, las galgas se colocaron en el centro de las vigas, ya que es donde se espera la máxima deformación.

Por otra parte, se instaló una galga extensométrica en la columna D8, debido a que durante la inspección visual se observó un ligero pandeo, razón por la cual se decidió monitorear dicha columna.

3.4.4. Determinación de sensores en las tolvas de alimentación

- Análisis del nivel de vibración en zonas de impacto.
- Nivel de esfuerzos de tracción en pernos.

Para realizar el estudio y seguimiento de la condición estructural de las tolvas de alimentación, se decidió instalar en la parte superior de cada tolva un acelerómetro MEMS y una galga extensométrica tipo perno. Estos sensores fueron colocados de manera intercalada entre las filas D y E, tal como se muestra en la Figura 36. Esta disposición permite obtener información detallada sobre las vibraciones y deformaciones generadas durante el llenado y vaciado, facilitando el monitoreo continuo y la detección temprana de posibles anomalías estructurales.

3.5. Esquema de ubicación de sensores

La Figura 34, Figura 35 y Figura 36 detallan la ubicación de los sensores en la estructura de zaranda. Además, en la *Tabla 20* se presentan las ilustraciones de los componentes que serán instalados en dicha estructura.

Tabla 20

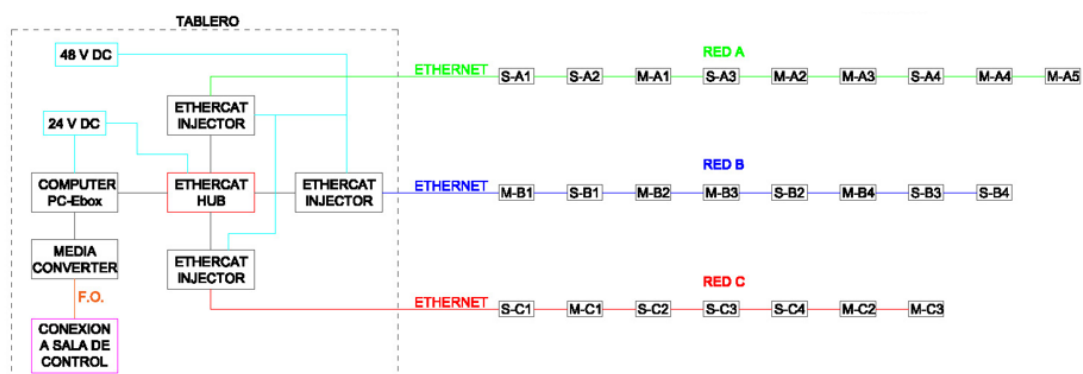
Códigos y descripción de ubicaciones y sensores

LEYENDA		
ILUSTRACIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN
	BN-303, BN-305, BN-308, BN-309, BN-310	Estructura por donde cae el material minero.
	FEEDER-304, FEEDER-307, FEEDER-309	Equipo apropiado para el transporte de material minero.
	T.C	Tablero de control eléctrico.
	M-A1, M-A2, M-A3, M-A4, M-A5, M-B1, M-B2, M-B3, M-B4, M-C1, M-C2, M-C3	Acelerómetros mem's de la Línea A, Línea B y Línea C.
	S-A1, S-A2, S-A3, S-A4, S-B1, S-B2, S-B3, S-B4, S-C1, S-C2, S-C3, S-C4	Strain gages lineales y de perno de las Líneas A, Línea B y Línea C.
	F. O	Fibra óptica
	RED A	Línea A de ethernet
	RED B	Línea B de ethernet
	RED C	Línea C de ethernet

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34

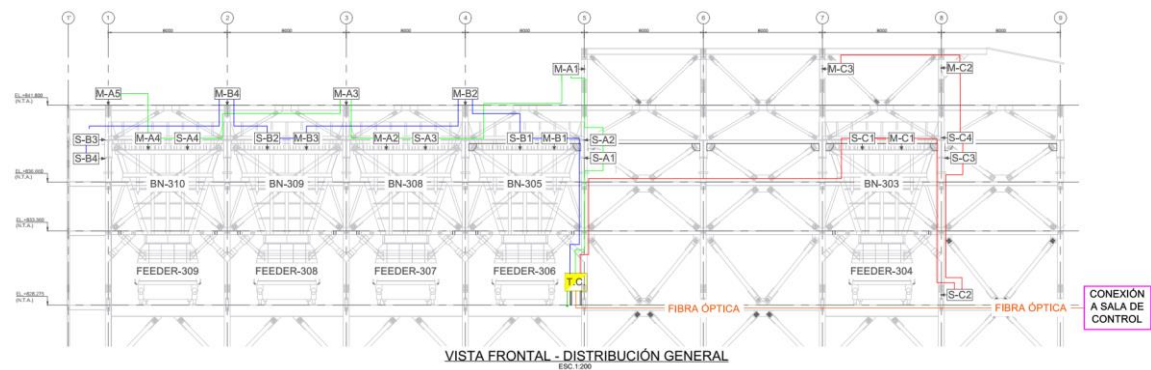
Diagrama unifilar de sensores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

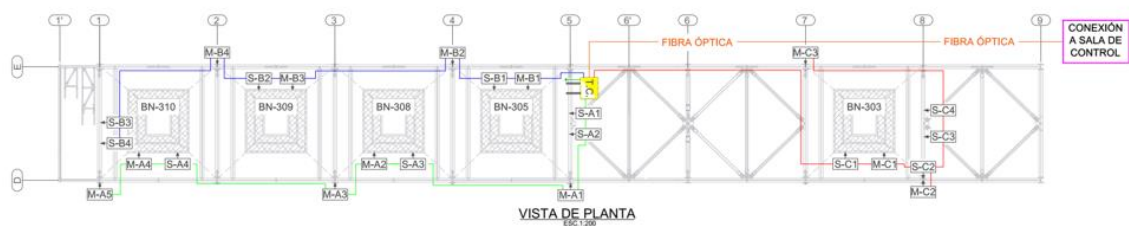
Vista frontal - distribución general



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Vista de planta - distribución general



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Esquema de conexión de sensores tipos mem's y strain gages

En la Figura 35 y en la Figura 36 se muestra la conexión entre los sensores de strain gages lineales, strain gages de perno y los sensores mem's. Además, en la Figura 34 se observa que las ramas están conformadas de por los tres diferentes tipos de sensores, por lo cual debe realizarse una conexión de tal manera que los diferentes sensores puedan funcionar simultáneamente dentro de una misma rama.

La conexión entre sensores mem's se puede realizar directamente, ya que estos cuentan con puertos de entrada y salida. En este caso, la salida de un sensor mem's debe conectarse a la entrada del siguiente sensor mem's, y así sucesivamente hasta llegar al último, como se ilustra en la Figura 38.

Figura 37

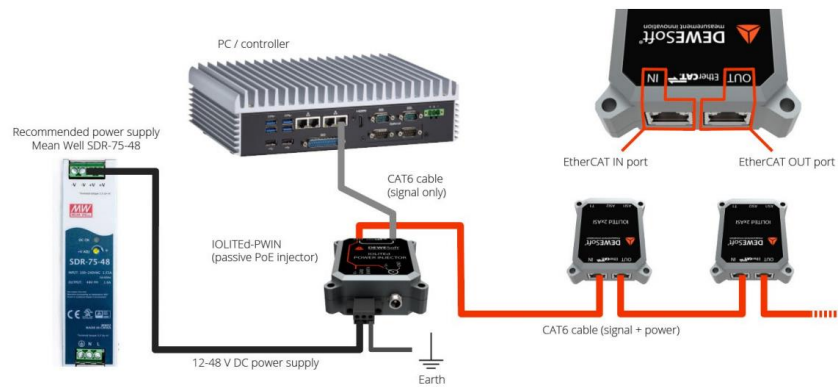
Sensor mem's



Fuente: DEWESoft.

Figura 38

Conexión entre sensores mem's



Nota. Fuente DEWESoft

Es importante tener en cuenta que el dispositivo mem's estará protegido por una caja protectora con clasificación IP67.

Figura 39

Caja protectora IP67 para mem's

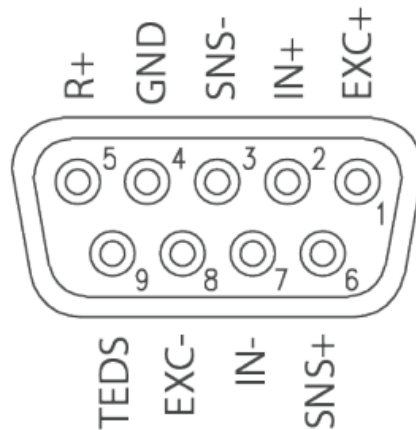


Fuente: DEWESoft.

El IOLITEi - 1xSTG está equipado con el conector mostrado en la Figura 42, el cual facilita la conexión en una configuración de cuarto puente del puente de Wheatstone.

Figura 42

Conector de IOLITEi - 1XSTG



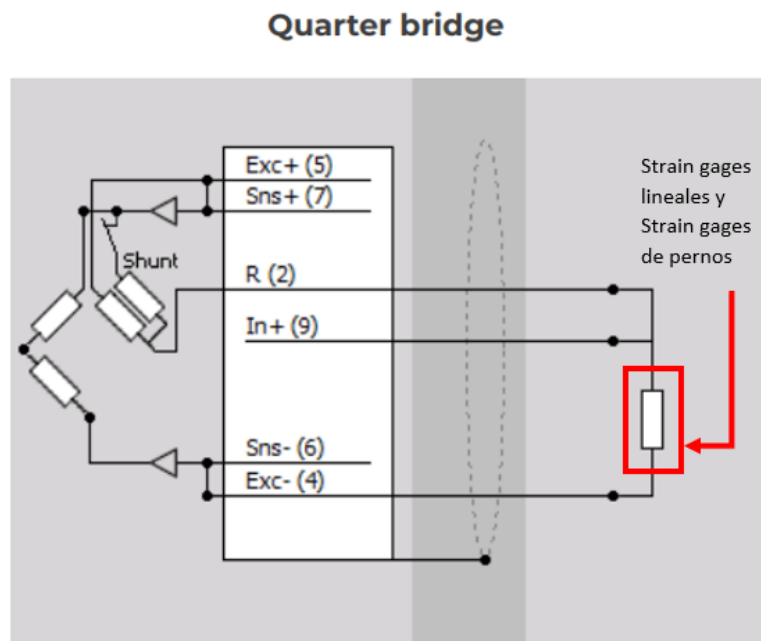
Fuente: DEWESoft.

Para una correcta lectura de las señales de deformación, es necesario realizar una correcta configuración en la conexión del conector del IOLITEi – 1xSTG con los terminales de los strain gages. De esta manera, se asegura que el puente de Wheatstone incorporado en el dispositivo IOLITEi – 1xSTG esté correctamente configurado para una disposición de cuarto de puente, en el cual el strain gage actúa como la resistencia que completa el circuito.

Tanto los strain gages lineales como los strain gages de perno se conectarán de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 43.

Figura 43

Conexión de strain gage con conector de IOLITEi - 1XSTG



Fuente: DEWESoft.

Al igual que los mem's, el IOLITE 1xSTG estará protegido por una caja con clasificación IP67, como se ilustra en la Figura 44.

Figura 44

Caja protector IP67 para IOLITEi – 1xSTG



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Implementación

3.7.1. *Instalación de sensores*

a) Procedimiento de Instalación de strain gage de perno

Objetivo:

El objetivo de este apartado es describir, paso a paso, el proceso de instalación de los strain gages de perno en los cinco bins, garantizando una instalación correcta y precisa.

Materiales y herramientas necesarias:

- Strain Gage de perno LB11
- Cianocrilato Tekbond 725
- Alcohol isopropílico
- Hisopos
- Cables de conexión
- Cinta aislante
- Pistola de soldar
- Estaño
- Pasta de soldar
- Multímetro
- Conector DB9 macho
- Perno ASTM A490 3/4 pulg
- Tuerca hexagonal ASTM A-194 2H 3/4 -10
- Arandela plana ASTM F-436 3/4 galvanizado en caliente
- Arandela de presión 3/4 pulg

Preparación del perno

Se procederá a realizar un orificio en el centro del perno con un diámetro de 2 mm y profundidad adecuada.

Preparación del conector DB9

Se realizarán dos puentes en los puntos 2 y 5, así como en los puntos 3 y 8 del conector. Asimismo, se prepararán dos cables de salida, específicamente el cable 2 y el cable 3, esta instalación corresponde a la configuración del cuarto puente los cuales serán conectados a los cables previamente soldados en el strain gage. Esta configuración asegura una correcta conexión eléctrica y garantiza la integridad del sistema.

Preparación del sitio de instalación

- a. Verificar que la superficie donde se instalará el strain gage de perno esté limpia y libre de suciedad, óxido o grasa.
- b. Utilizar alcohol isopropílico para limpiar la superficie y asegurarse de eliminar cualquier residuo.

Preparación del strain gage de perno

- Inspeccionar visualmente el strain gage de perno para verificar que esté en buenas condiciones y no presente daños ni deformaciones.
- Aplicar el adhesivo para strain gage en la superficie del perno, asegurándose de que esté bien distribuido.
- Colocar el strain gage de perno sobre la superficie adhesiva y presionar firmemente para asegurar una buena adherencia.
- Dejar secar el adhesivo según las instrucciones del fabricante.
- Soldar los cables de conexión al strain gage de perno, asegurando una conexión sólida y segura.

Verificación de la instalación

- Utilizar un multímetro para verificar la continuidad y resistencia de la conexión del strain gage de perno.
- Se llevará a cabo la interconexión del conector DB9 con el sensor IOLITEi-1xSTG, estableciendo una conexión física y eléctrica entre ambos dispositivos. Este paso implica asegurar un acoplamiento adecuado de los pines del conector DB9 con los terminales correspondientes en el sensor IOLITEi-1xSTG, garantizando una transmisión eficiente de señales y datos entre ambos componentes. Se debe prestar especial atención a la correcta alineación de los pines y a la firmeza de la conexión para evitar posibles interferencias o pérdidas de señal.

Figura 45

Flujo de conexión de strain gages de perno



Fuente: Elaboración propia.

Configuración

- Se llevará a cabo la configuración del strain gage de perno mediante el software DEWESoftX. Este proceso implica la configuración de los parámetros necesarios para capturar y analizar las señales provenientes del strain gage. Utilizando el software, se establecen los canales de adquisición de datos correspondientes al strain gage de perno, se seleccionan las unidades de medida adecuadas y se configuran los filtros necesarios para el procesamiento de la señal.
- Se realizan pruebas de calibración y verificación para asegurar la precisión y fiabilidad de las mediciones obtenidas. Durante la configuración, es posible ajustar

los rangos de medición, la frecuencia de muestreo y otros parámetros según las necesidades específicas del proyecto.

- Destacar que el software DEWESoftX proporciona herramientas avanzadas para el análisis de datos, permitiendo realizar cálculos de deformación, análisis de frecuencia, seguimiento de eventos y visualización gráfica de los resultados. De esta manera, se obtiene una representación precisa y detallada de las lecturas del strain gage de perno, facilitando la evaluación del comportamiento estructural y la toma de decisiones en base a los datos recopilados.

Es importante considerar que el factor de galga es un valor proporcionado por el fabricante, el cual, en este caso, es de 2.05.

b) Procedimiento de instalación de strain gage lineales

Objetivo:

El objetivo de este apartado es describir la instalación del lineal para realizar una correcta medición de las deformaciones de la estructura de zaranda.

Materiales y herramientas necesarias:

- Strain gage lineal
- Cianocrilato Tekbond 725
- Alcohol isopropílico
- Hisopos
- Cables de conexión
- Cinta aislante
- Pistola de soldar
- Estaño
- Pasta para soldar
- Lijas de fierro #80
- Multímetro

- Conector DB9 macho

Preparación del área de montaje

- Se limpia y desengrasa la superficie de montaje utilizando el alcohol isopropílico.
- Se lija la superficie para eliminar irregularidades o daños que puedan afectar la adherencia del adhesivo.

Preparación del strain gage lineal:

- Se inspecciona el strain gage lineal para asegurarse de que esté en buen estado y sin daños visibles.
- Se realiza la soldadura de los dos terminales del strain gage utilizando estaño, asegurándose de una conexión eléctrica adecuada. Además, soldar los cables de color rojo y blanco a los respectivos terminales correspondientes. Esta soldadura garantizará una unión sólida y confiable, permitiendo una transmisión eficiente de la señal eléctrica entre los cables y los terminales.

Preparación del conector DB9

Se realizarán dos puentes en los puntos 2 y 5, así como en los puntos 3 y 8 del conector. Asimismo, se prepararán dos cables de salida, específicamente los cables 2 y 3. Esta instalación corresponde a la configuración de cuarto de puente, en el cual dichos cables serán conectados a los cables previamente soldados en el strain gage. Esta configuración asegura una correcta conexión eléctrica y garantiza la integridad del sistema.

Instalación del strain gage lineal

- Una vez que el área de instalación esté lista, se procederá a aplicar el adhesivo cianocrilato Tekbond-725 en la superficie de montaje, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Se colocará cuidadosamente el strain gage lineal sobre el adhesivo, asegurándose de que esté alineado correctamente con la dirección de la deformación esperada.

Verificación de la instalación

- Se empleará un multímetro para verificar la continuidad y resistencia de la conexión del strain gage lineal.
- Se realizará la interconexión del conector DB9 y el sensor IOLITEi-1xSTG, estableciendo una conexión física y eléctrica entre ambos dispositivos. Este paso implica asegurar un acoplamiento adecuado de los pines del conector DB9 con los terminales correspondientes en el sensor IOLITEi-1xSTG, garantizando una transmisión eficiente de señales y datos entre ambos componentes. Se debe prestar especial atención a la correcta alineación de los pines y a la firmeza de la conexión para evitar posibles interferencias o pérdidas de señal.

Figura 46

Flujo de conexión de strain gage lineal



Fuente: Elaboración propia.

Protección del strain gage

Aplicar el recubrimiento protector sobre el strain gage y las conexiones soldadas para protegerlos de la humedad, la corrosión y los daños mecánicos.

Configuración:

Se realizará la configuración del strain gage lineal utilizando el software DEWESoftX, una herramienta especializada en la adquisición y análisis de datos. Este proceso implica ingresar los parámetros específicos del strain gage lineal, como la sensibilidad, el rango de medición y la calibración. Además, es importante establecer los

canales de adquisición de datos correspondientes y configurar las opciones de muestreo adecuadas para capturar de manera precisa y confiable las lecturas del strain gage lineal. Una vez completada la configuración, se pueden realizar pruebas para garantizar una correcta captura y análisis de los datos de los strain gage lineales.

c) Procedimiento de instalación de los 12 IOLITEi-1XSTG

Objetivos:

- Instalar correctamente los 12 IOLITEi-1xSTG en los puntos estratégicos para el monitoreo de vibración.
- Garantizar la protección adecuada de los sensores mediante carcasas protectoras.
- Asegurar una conexión adecuada de los cables y una comunicación correcta con los dispositivos de adquisición de datos.
- Realizar pruebas para verificar la precisión y confiabilidad de las mediciones obtenidas.

Materiales y herramientas necesarias:

- Protección IP67 para los dispositivos IOLITEi-1xSTG
- Dispositivos IOLITEi-1xSTG
- Tuerca riel con resorte
- Herramientas de instalación (destornilladores, llaves, etc.).
- 12 sensores IOLITEi-1xSTG

Identificación de los puntos de instalación:

Identificar los puntos estratégicos donde se instalarán los 12 IOLITEi-1XSTG, de acuerdo con el plan de ubicación previamente definido.

Instalación de los IOLITEi-1xSTG Cover:

En esta etapa, se procede a la instalación de las cubiertas protectoras IOLITEi-1xSTG Cover. Antes de comenzar, es fundamental verificar la compatibilidad de las cubiertas con los sensores y asegurarse de que puedan fijarse correctamente.

Para garantizar la estabilidad de los sensores y protegerlos frente a condiciones ambientales adversas, se emplean tuercas para riel con resorte. Estas tuercas proporcionan una sujeción segura, evitando deslizamientos o movimientos no deseados de los sensores.

Durante la instalación de los protectores, se utilizarán herramientas adecuadas, tales como destornilladores, llaves u otras necesarias, para asegurar una colocación correcta y firme de los protectores sobre los sensores.

Instalación de sensores IOLITEi-1XSTG:

En esta etapa, se lleva a cabo la instalación de los sensores IOLITEi-1XSTG en sus respectivos covers. Se busca asegurar una fijación adecuada de los sensores dentro de los covers para garantizar su estabilidad durante el monitoreo de vibraciones.

Procedimiento:

- Colocar cada sensor en su respectivo cover.
- Una vez que los sensores estén fijados en los covers, se realiza la conexión de los cables RJ45. Cada sensor contará con una etiqueta (tag) que indicará la conexión correcta de entrada y salida.
- Durante la conexión de los cables, es fundamental tener en cuenta el etiquetado y seguimiento adecuado para evitar cualquier confusión o intercambio de conexiones.
- Realizar una inspección visual final para verificar que todas las conexiones estén correctamente realizadas y aseguradas. Asegurarse de que no haya cables sueltos o conexiones mal ajustadas que puedan afectar el rendimiento y la precisión de los sensores.

Verificación y configuración de la lectura de los sensores instalados

La verificación y configuración de la lectura de los sensores instalados utilizando el software DEWESoftX, es fundamental para asegurar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. Este proceso garantiza un monitoreo efectivo y una correcta interpretación de los resultados durante la instalación de los sensores.

Figura 47

IOLITEi - 1xSTG instalado



Fuente: Elaboración propia.

d) Procedimiento de Instalación de los 12 IOLITEiw 3xMEMS-ACC-INC

Objetivo:

El objetivo de este procedimiento es realizar la instalación adecuada de los 12 sensores IOLITEiw 3xMEMS -ACC - INC para el monitoreo online de vibraciones. Se busca asegurar una instalación precisa y confiable de los sensores, garantizando mediciones exactas y consistentes.

Materiales y herramientas necesarias

- 12 sensores IOLITEiw 3xMEMS - ACC - INC

- Cables de conexión RJ45 Cat 6, adecuados para los sensores
- Herramientas de instalación (destornilladores, llaves, entre otras.)

Identificación de los puntos de instalación:

Identificar los puntos estratégicos donde se instalarán los 12 IOLITEiw 3xMEMS - ACC - INC, de acuerdo con el plan de ubicación previamente definido.

Instalación de sensores IOLITEiw 3xMEMS - ACC - INC:

En esta etapa, se lleva a cabo la instalación de los 12 sensores IOLITEiw 3xMEMS - ACC - INC. Se busca asegurar una fijación adecuada de los sensores para garantizar su estabilidad durante el monitoreo de vibraciones.

Procedimiento:

- Colocar cada sensor en su respectivo cover.
- Utilizar los soportes adecuados para fijar los sensores de forma segura y estable.
- Utilizar las herramientas adecuadas para apretar los pernos y asegurar los sensores en su lugar, evitando movimientos no deseados.
- Una vez que los sensores estén fijados y en la ubicación correspondiente, se realiza la conexión de los cables RJ45. Cada sensor contará con una etiqueta (tag) que indicará la conexión correcta de entrada y salida.
- Durante la conexión de los cables, es fundamental tener en cuenta el etiquetado y mantener un seguimiento adecuado para evitar cualquier confusión o intercambio de conexiones.
- Realizar una inspección visual final para verificar que todas las conexiones estén correctamente realizadas y aseguradas. Asegurarse de que no haya cables sueltos o conexiones mal ajustadas que puedan afectar el rendimiento y la precisión de los sensores.

Verificación y configuración de la lectura de los sensores instalados.

La verificación y configuración de la lectura de los sensores instalados utilizando el software DEWESoftX, es fundamental para asegurar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. Este proceso garantiza un monitoreo efectivo y una correcta interpretación de los resultados en el proceso de instalación de los sensores.

Figura 48

Sensor mem's instalado



Fuente: Elaboración propia.

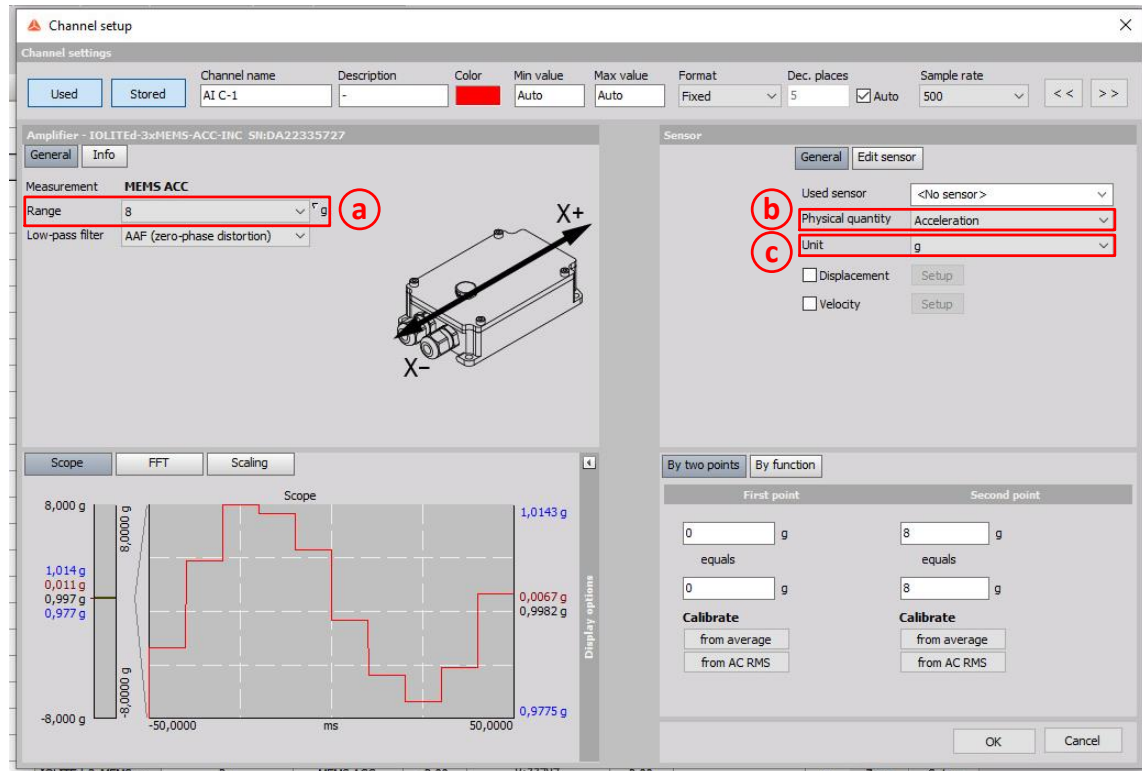
e) Configuración de los sensores

Se tienen 3 tipos de sensores: acelerómetros mem's, strain gages lineales y strain gages de perno. Cada uno de los sensores debe ser configurado en el software DEWESoftX para una correcta adquisición de datos. En ese sentido, a continuación se muestra la configuración utilizada para cada tipo de sensor.

Configuración de acelerómetros triaxiales (MEM'S)

Figura 49

Configuración de acelerómetro triaxial mem's



Fuente: Elaboración propia.

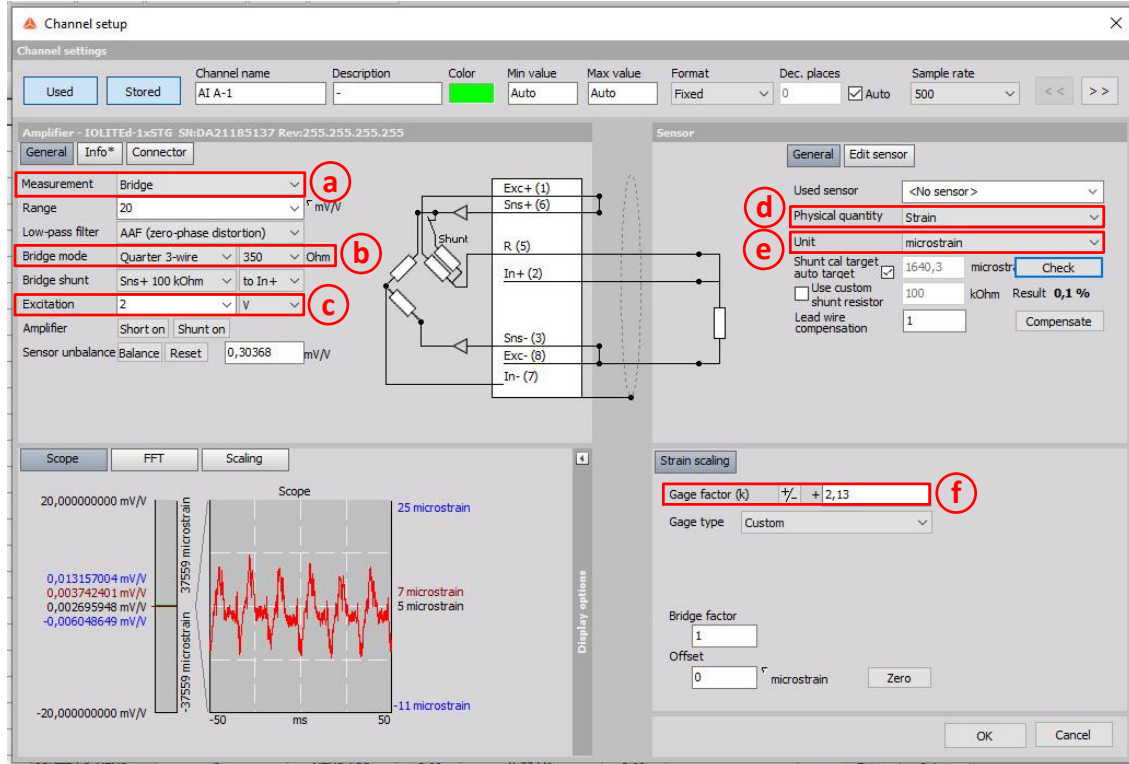
- a) El rango de medición de los acelerómetros será de hasta 8 G's en cada una de las tres direcciones (X, Y, Z).
- b) La magnitud física medida por los sensores mem's es aceleración.
- c) La unidad de aceleración escogida es G's o gravedad.

La configuración mostrada se debe realizar para cada mem's y para cada una de sus direcciones 'X', 'Y' y 'Z'.

Configuración de strain gage lineal

Figura 50

Configuración de strain gage lineal



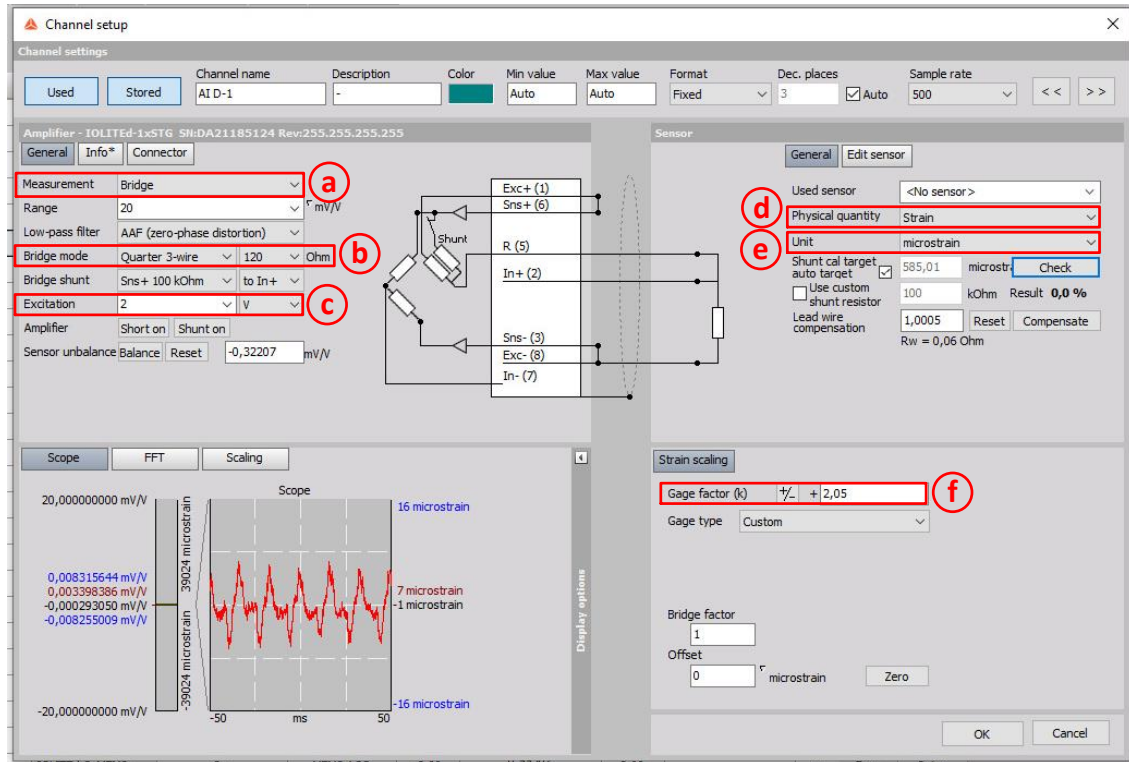
Fuente: Elaboración propia.

- Este tipo de sensor utiliza el puente de Wheatstone para medir la resistencia del strain gage que se traduce en un valor de deformación.
- El cuarto de puente significa que una de las cuatro resistencias del puente corresponde al strain gage. Además, Las otras tres resistencias adicionales para completar el puente tienen un valor de 350 ohmios cada una.
- El voltaje de excitación de los strain gages utilizado es de 2 voltios; este voltaje se aplica al puente para medir la deformación del strain gage.
- La magnitud física medida por el strain gage es la deformación (strain).
- La unidad en la que se mide la deformación es microstrains.
- El gage factor o factor de galga es un valor brindado por el fabricante que, en este caso, es 2.05.

Configuración de strain gages de pernos

Figura 51

Configuración de strain gage de pernos



Fuente: Elaboración propia.

- Este tipo de sensor utiliza el puente de Wheatstone para medir la resistencia del strain gage que se traduce en un valor de deformación.
- El cuarto de puente significa que una de las cuatro resistencias del puente corresponde al strain gage. Además, Las otras tres resistencias adicionales para completar el puente tienen un valor de 120 ohmios cada una.
- El voltaje de excitación de los strain gages utilizado es de 2 voltios; este voltaje se aplica al puente para medir la deformación del strain gage.
- La magnitud física obtenida por el strain gage es deformación (strain).
- La unidad en la que se mide la deformación es en microstrains.
- El gage factor o factor de galga es un valor brindado por el fabricante que, en este caso, es 2.05.

f) Procedimiento de prueba y verificación

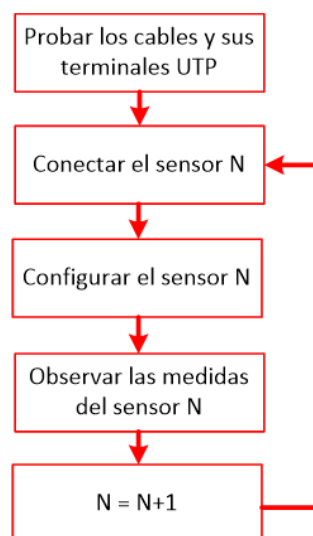
Para realizar la verificación de que los sensores estén trabajando correctamente, se usó el siguiente procedimiento.

- 1) Probar la continuidad de cada una de las 8 líneas usadas en el cable UTP mediante un probador de cables. Este procedimiento garantiza que todos los cables y terminales estén en óptimas condiciones para que los sensores sean conectados.
- 2) Conectar el primer sensor de la línea y probar que el software reconozca al sensor.
- 3) Configurar el sensor y observar que éste brinde medidas de vibración o deformación coherentes.
- 4) Conectar el siguiente sensor de la línea y repetir el paso 2. Continuar realizando este proceso hasta que toda la línea esté conectada.
- 5) Una vez que se termine una línea, continuar con las otras 3 líneas.

Este proceso se muestra de manera visual mediante un diagrama:

Figura 52

Flujo de procesos para la prueba de los sensores



Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Implementación de tablero de energía

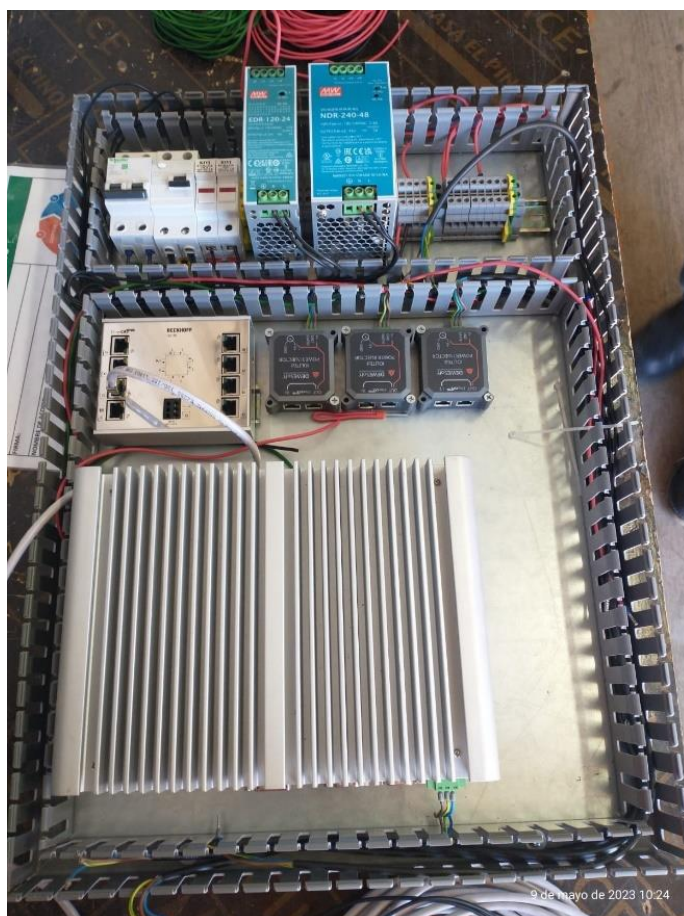
La implementación del tablero de energía se realiza según los planos de la Figura 33 anteriormente mostrada.

La implementación de este tablero se debe realizar con los EPP's necesarios para realizar trabajo eléctrico. Además, debe estar desenergizado todos los componentes hasta que se haya terminado de colocar y conectar todos los componentes. Por último, tener en cuenta que los cables han de colocarse dentro de canaletas ranuradas para mantener el orden dentro del tablero.

En la Figura 53 se muestra que el armado del tablero se realiza en un taller donde no se presenten problemas causados por el ambiente.

Figura 53

Armado de tablero de energía



Fuente: Elaboración propia.

3.7.3. Conexión a internet y al servidor

a) Envío de datos globales a través de MQTT

Para el envío de datos de valores globales se usará el software DEWESoftX, el cual estará instalado en la PC eBOX671.

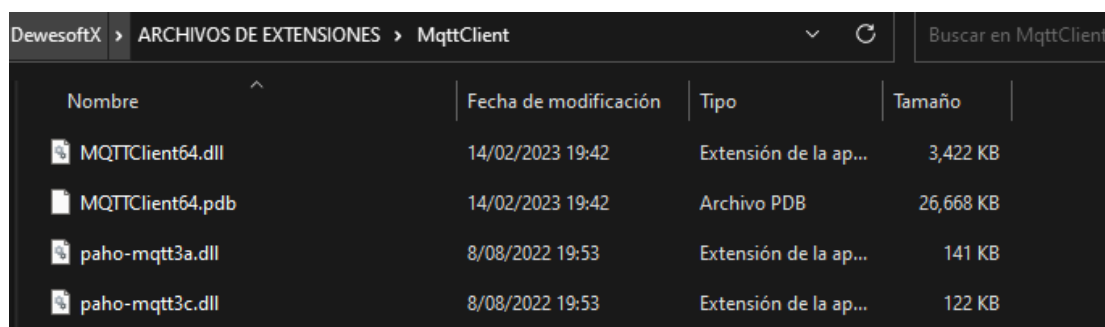
Las imágenes mostradas en este apartado corresponde a las capturas realizadas durante las pruebas de funcionamiento efectuadas en el laboratorio antes de la implementación del sistema de monitoreo. A pesar de ello, todos los pasos fueron realizados de la misma manera que en el sistema de monitoreo real. La decisión de mostrar imágenes de prueba es por criterios de seguridad del sistema.

Paso 1: Agregar pluggins de MQTT al software DEWESoftX.

Descargar y descomprimir los archivos de MqttClient.

Figura 54

Extensiones MQTT



The screenshot shows the DEWESoftX application window with the 'ARCHIVOS DE EXTENSIONES' (Extension Files) tab selected. The 'MqttClient' folder is open, displaying a list of files. The table below represents the data shown in the screenshot.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MQTTClient64.dll	14/02/2023 19:42	Extensión de la ap...	3,422 KB
MQTTClient64.pdb	14/02/2023 19:42	Archivo PDB	26,668 KB
paho-mqtt3a.dll	8/08/2022 19:53	Extensión de la ap...	141 KB
paho-mqtt3c.dll	8/08/2022 19:53	Extensión de la ap...	122 KB

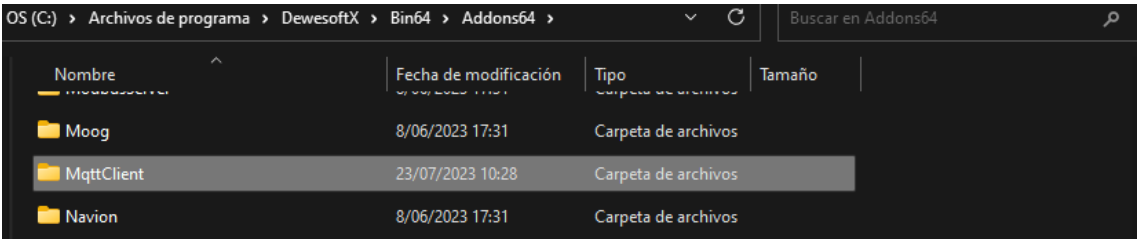
Fuente: Elaboración propia.

Todos los archivos de la carpeta MqttClient son pegados en la carpeta 'C:\Program Files\DewesoftX\Bin64\Addons64 '.

Al colocar estas extensiones MQTT, es necesario que sean reconocidas por el programa DEWESoft.

Figura 55

Extensiones MQTT en la carpeta de Addons64

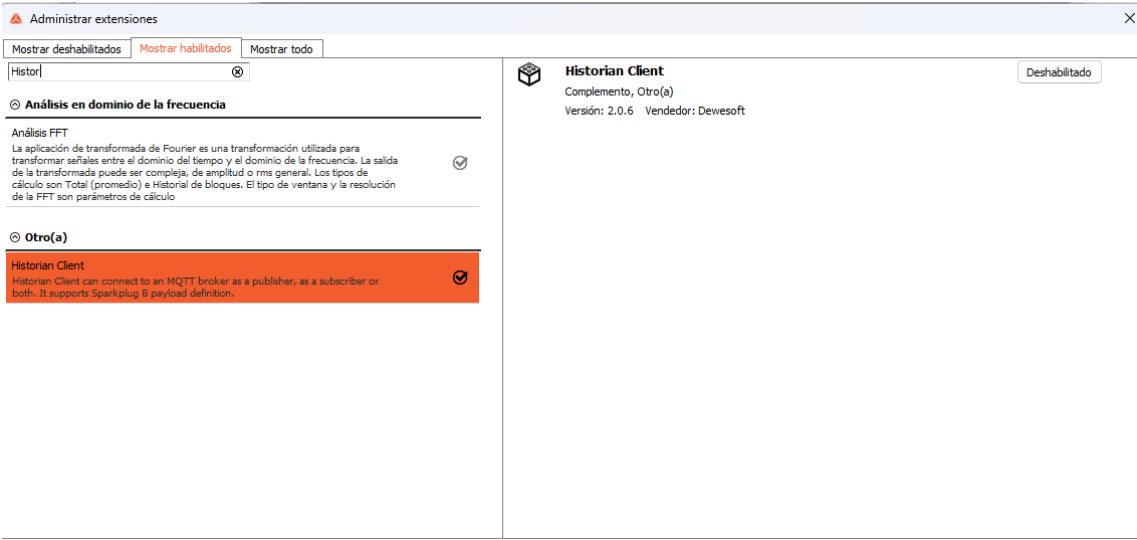


Fuente: Elaboración propia.

Con las extensiones instaladas en la carpeta Addons64, se realiza la habilitación de la extensión MqttClient en el software DEWESoftX.

Figura 56

Administración de extensiones

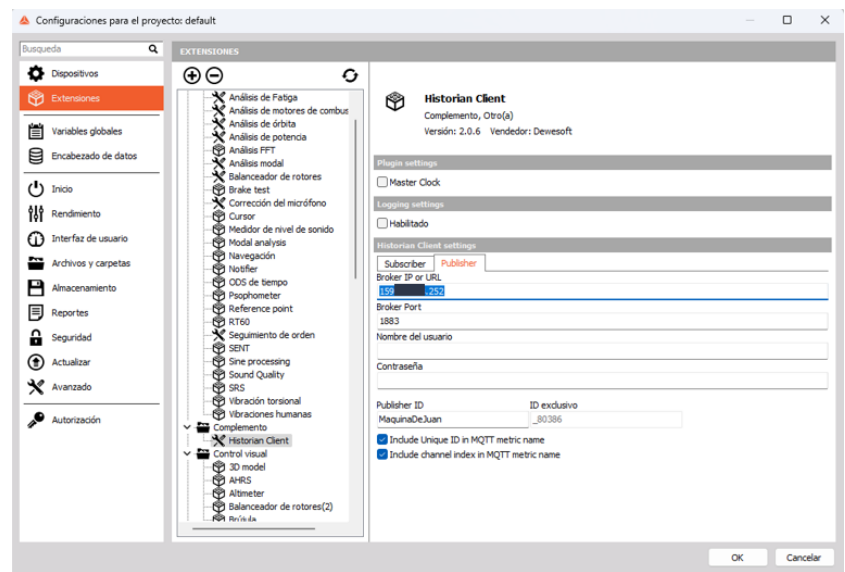


Fuente: Elaboración propia.

Una vez que la extensión MQTT se encuentre habilitada, se procede a realizar las configuraciones de la dirección IP del broker y el puerto al cual serán enviados los datos globales mediante el protocolo MqttClient.

Figura 57

Configuración de Historian Client – MQTT



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2 : Configuración del canal del sensor utilizado.

En este caso, se habilita el canal 16, en el cual se debe configurar el ancho de banda, el rango, el tipo de señal medida, la magnitud física y su unidad.

Figura 58

DEWESoft - pantalla de canales

ID	Utilizado	Color	Frecuen...	Nombre	Nombre amp	Rango	Medición	Min	Valores	Max	Cantidad física	Uni...	Cero	Ajuste
1	No usados	Green	20000	AI 1	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0022	5.00		V	Cero	Ajuste
2	No usados	Cyan	20000	AI 2	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0023	5.00		V	Cero	Ajuste
3	No usados	Red	20000	AI 3	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0021	5.00		V	Cero	Ajuste
4	No usados	Magenta	20000	AI 4	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0022	5.00		V	Cero	Ajuste
5	No usados	Blue	20000	AI 5	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0025	5.00		V	Cero	Ajuste
6	No usados	Green	20000	AI 6	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0027	5.00		V	Cero	Ajuste
7	No usados	Olive	20000	AI 7	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0021	5.00		V	Cero	Ajuste
8	No usados	Green	20000	AI 8	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0023	5.00		V	Cero	Ajuste
9	No usados	Green	20000	AI 9	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0022	5.00		V	Cero	Ajuste
10	No usados	Magenta	20000	AI 10	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0023	5.00		V	Cero	Ajuste
11	No usados	Green	20000	AI 11	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0021	5.00		V	Cero	Ajuste
12	No usados	Cyan	20000	AI 12	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0022	5.00		V	Cero	Ajuste
13	No usados	Green	20000	AI 13	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0024	5.00		V	Cero	Ajuste
14	No usados	Green	20000	AI 14	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0026	5.00		V	Cero	Ajuste
15	No usados	Green	20000	AI 15	SIRIUS-HD-ACC	5 V	Voltaje	-5.00	AVG 0.0022	5.00		V	Cero	Ajuste
16	Utilizado	Green	20000	AI 16	SIRIUS-HD-ACC	5000 mV	IEPE	-50.00	AVG 0.000	50.00	Acceleration	g	Cero	Ajuste

Fuente: Elaboración propia.

Configuraciones:

- Frecuencia de Muestreo: 20,000.
- Rango: 5000 Mv (-50 g – +50 g).
- Medición: IEPE.
- Cantidad Física: Aceleración.
- Unidad Física: g.

Mediante el apartado de análisis FFT, se convierte la forma de onda obtenida por el sensor en su espectro de frecuencias, del cual se obtendrá su valor global en RMS.

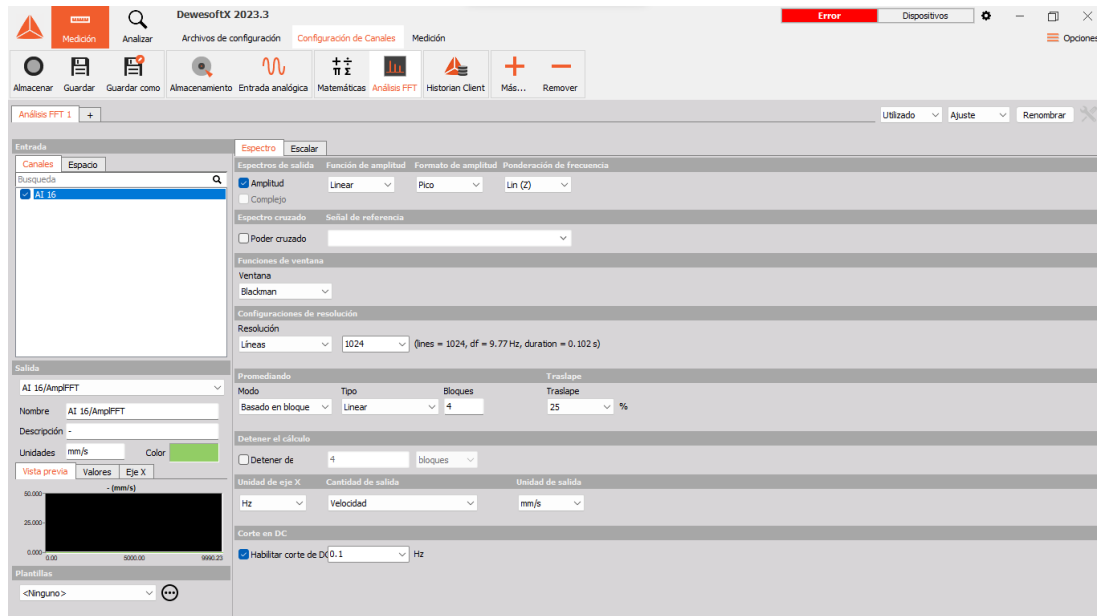
Esta medición sirve para obtener la cantidad de vibración presente en cada punto y tener una referencia de una estructura sana, la vibración que se presente en funcionamiento normal y se mantenga estable en el tiempo, es tomada como la vibración normal de la estructura la cual nos indica una estructura saludable y sin problemas, teniendo como referencia esta vibración se puede asignar los niveles de funcionamiento normal, advertencia y operación no adecuada.

Con el paso de los días o meses, pueden presentarse aumentos en los valores globales de vibración lo cual indica que existe un problema. Además, con la gráfica de tendencia de los valores globales, se puede estimar cuánto tiempo se tiene antes de que la estructura presente vibraciones que causen problemas que afecten la producción, permitiendo así planificar el mantenimiento de la estructura.

Los parámetros que se muestran en la Figura 59 se utiliza para la ejecución del algoritmo de la transformada rápida de Fourier.

Figura 59

DEWESoft - pantalla de análisis FFT



Fuente: Elaboración propia.

Configuración:

- Ventana: Blackman.
- Resolución: 1024 líneas de resolución.
- Promediado: 4 promediados en bloque con traslape del 25%, tipo linear.
- Valores mostrados en pantalla:
 - Unidad de eje X: Hertz (Hz)
 - Unidad de eje Y: Velocidad (mm/s)

La ventana se encarga de modificar el bloque de datos utilizado para la Transformada Rápida de Fourier (FFT), de modo que los valores al inicio y al final del bloque sean cero. Esto evita discontinuidades que podrían generar problemas en el procesamiento y mejorar la precisión del análisis espectral.

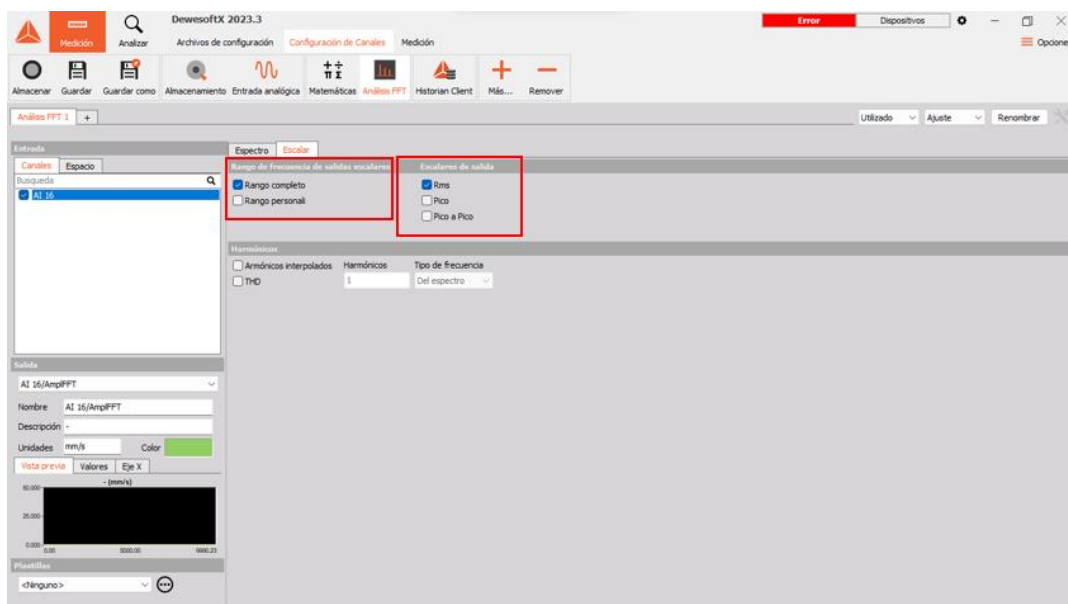
La resolución es para la visualización de las frecuencias, entre mayor sea menor será la diferencia entre frecuencias encontradas por lo cual la resolución es mejor.

El promediado se utiliza para mejorar la calidad del procesamiento de la señal en la transformada FFT.

En la pantalla Análisis FFT - Escalar se configura como se muestra en la Figura 60 para la obtención del valor global.

Figura 60

DEWESoft – pantalla de análisis FFT – escalar



Fuente: Elaboración propia.

Configuración:

- Rango de frecuencia de salidas escalares: Rango completo.
- Escalera de salida: RMS.

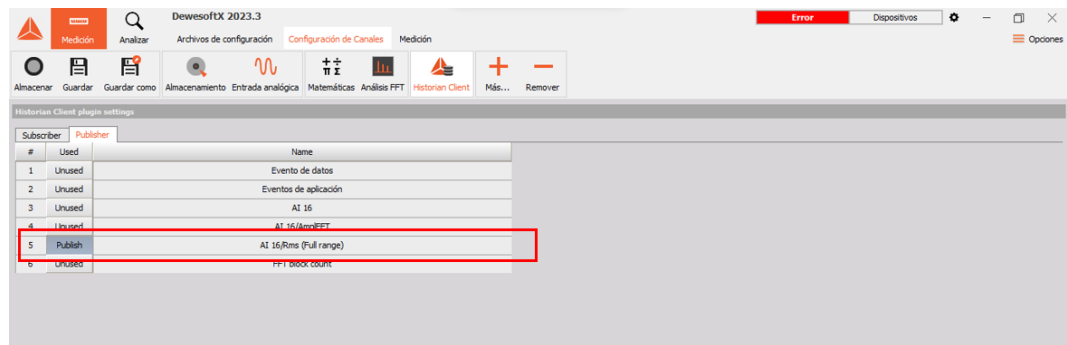
Con esta configuración se obtiene que los datos de cada bloque se promedien obteniendo así un valor global RMS de cada trama.

Paso 3: Seleccionar el canal de datos que se desea enviar a través de Historian Client que es el nombre con el cual aparece el apartado para enviar los datos a través de protocolo MQTT.

En la pantalla Historian Client se selecciona publicar los datos del valor anteriormente procesado.

Figura 61

DEWESoft - Pantalla de Historian Cliente – publicar



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Comenzar a realizar la medición.

Figura 62

DEWESoft - pantalla de medición



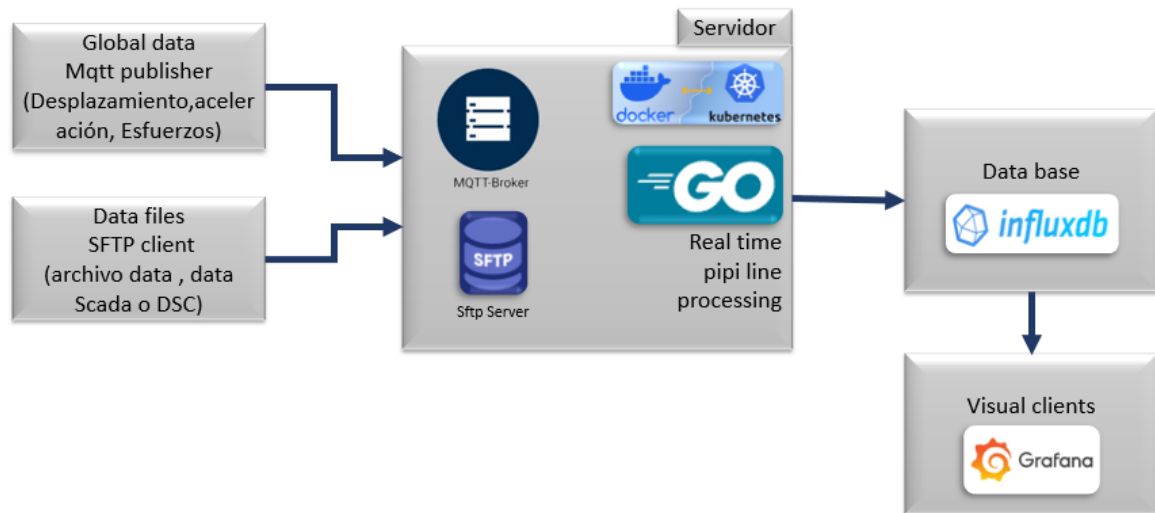
Fuente: Elaboración propia.

Los datos mostrados en la Figura 62 son los que se envían a través del protocolo MQTT a la dirección anteriormente seleccionada en la Figura 61.

Estos datos se dirigen hacia un servidor, el cual se encargar de recibir estos datos y realizar su procesado. Como se observa en la Figura 63 el flujo de la información antes de ser visualizada.

Figura 63

Esquema de proceso de la información



Fuente: Elaboración propia.

Global Data: Valores globales medidos por los sensores, estos envían datos de desplazamiento, aceleración y esfuerzos.

Data Files: Archivos de datos proporcionados para conocer las condiciones de operación, usualmente obtenidos de los sistemas Scada o DSC.

Comunication: Los protocolos de comunicación usados para el envío de datos. En el presente caso se utiliza el protocolo MQTT.

Real time pipe line processing: En el servidor al cual se envían los datos se realiza el procesamiento de la información en tiempo real, teniendo un flujo de información independiente para luego integrarse de manera ordenada. El programa para este proceso está diseñado en Go, un lenguaje de programación desarrollado por Google e inspirado en el lenguaje C. Este lenguaje es adecuado para aplicaciones que necesitan manejar un alto volumen de solicitudes concurrentes.

Docker: Es una herramienta para el desarrollo web, la administración de sistemas, etc. Ofrece una forma fácil y fiable para empaquetar aplicaciones llamadas contenedores.

Kubernetes: Es una plataforma de administración centrada en contenedores que ayuda a automatizar procesos como la asignación de recursos y el despliegue.

Figura 64

Arquitectura de microservicios con Docker y Kubernetes



Fuente : EdTeam.

La aplicación de docker y kubernetes permite realizar una aplicación con arquitectura de microservicios. Por lo tanto, la aplicación está formada de miniaplicaciones, esto permite tener cada componente de la aplicación aislado y darle mantenimiento a cada uno, sin comprometer a la aplicación completa.

Database: Apartado donde se almacena toda la información, como la serie de tiempos, valores de vibración, niveles de alarma, entre otros, para su posterior visualización.

DB Queries: Consultas que se realizan para obtener datos en Influxdb.

Visual Clients: Para la visualización de los datos, tiempo, alarmas. Para esto se utiliza el software Grafana.

Paso 5: Mostrar los datos en internet.

La visualización de los datos enviados al servidor se puede realizar a través de cualquier navegador de internet.

Figura 65

Navegadores de internet

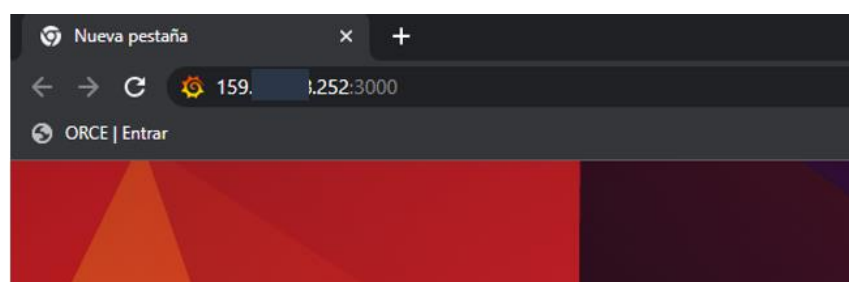


Fuente: SEO TOP WEBS.

La dirección IP que se configuró previamente en MqttClient se ingresa en el navegador de preferencia, añadiendo al final de la dirección en la cual se ha creado la pantalla para la visualización. En la Figura 66 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia que la dirección utilizada en este caso es “:3000”.

Figura 66

Dirección IP en navegador Google

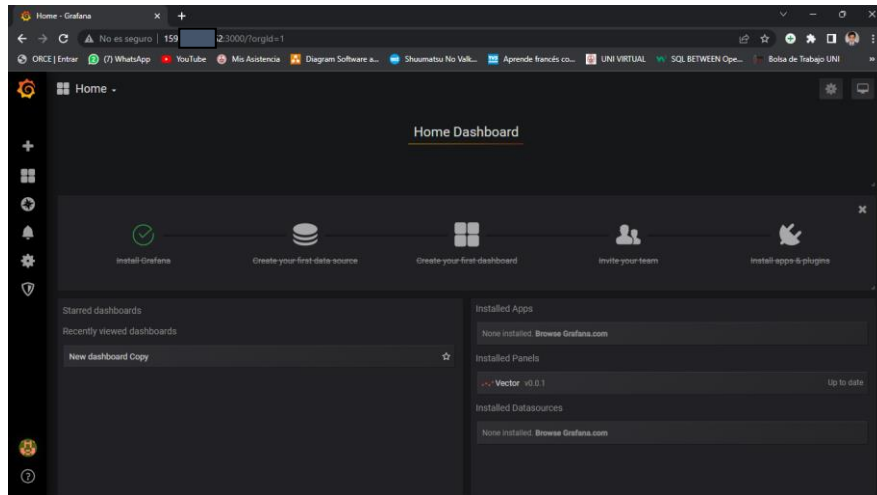


Fuente: Elaboración propia.

Al entrar a la dirección IP, nos muestra la página de Grafana vinculada a dicha dirección, en la cual se visualizarán los datos enviados al servidor por MQTT y guardados en la base de datos para luego ser leídos.

Figura 67

Página web para visualización de datos globales

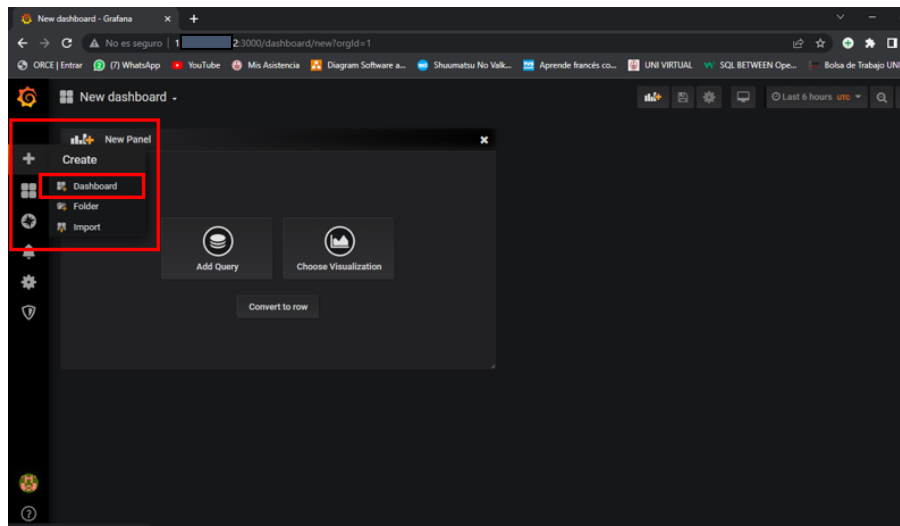


Fuente: Elaboración propia.

Para visualizar los datos enviados hacia el servidor, se debe crear un nuevo dashboard.

Figura 68

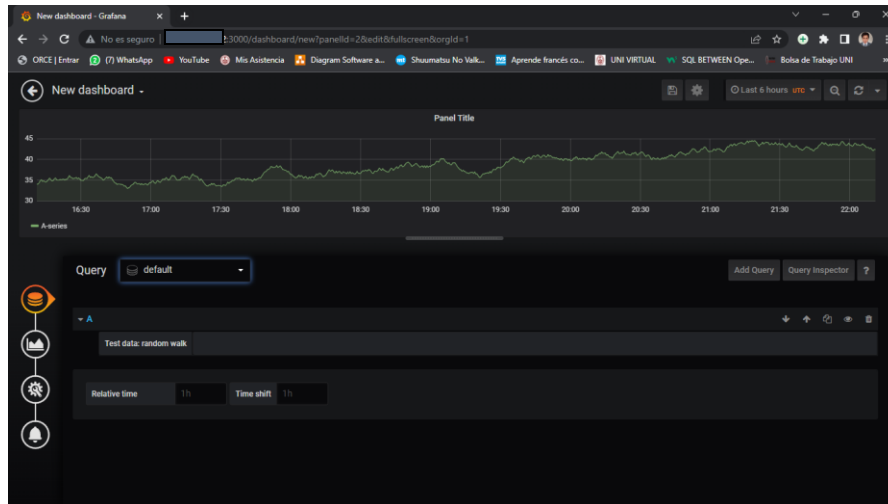
Creación de nuevo dashboard



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69

Pantalla de visualización de valores por default

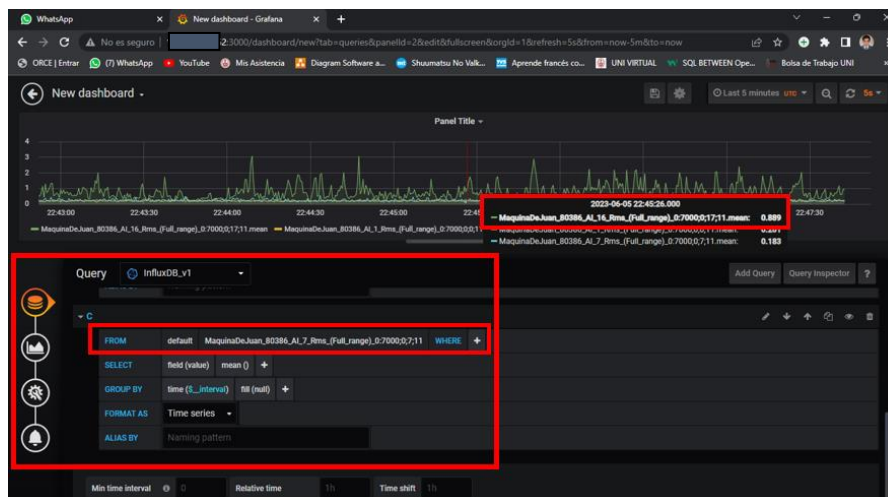


Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionan los datos procesados que se encuentra en la base de datos del servidor, como se muestra en la Figura 70.

Figura 70

Datos globales mostrados en pantalla



Fuente: Elaboración propia.

El envío y la lectura de datos globales se realizó con éxito. Por lo tanto, solo queda realizar un panel donde se puedan visualizar todos los datos que se deben mostrar de manera simple y comprensible. El panel completo, en el cual se muestra la posición de

cada sensor, la medición actual, las alarmas, entre otras cosas, se mostrará más adelante en el capítulo 4 de resultados.

b) Envío de archivos de datos mediante protocolo SFTP

Para el envío de archivos de datos se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes, como:

- Tamaño del archivo de datos enviado.
- No se debe enviar data en la cual no se presente nada anómalo.
- La memoria de la PC y del servidor es limitada.
- Los archivos de datos deben ser enviados de forma segura.
- Se debe tener un medio por el cual poder descargar los archivos de datos desde el servidor.
- Se debe tener control del servidor para poder borrar archivos de datos ya analizados y liberar memoria.

Con todos estos puntos importantes, se van a realizar los siguientes pasos para efectuar el envío de archivos de datos.

Paso 1: Descargar el programa FreeFile Sync.

Figura 71

Página web FreeFileSync



Fuente: FreeFileSync.

Se debe de descargar según el sistema operativo de la PC en la que se va instalar.

Paso 2: Configurar el programa FreeFileSync.

Antes de comenzar con las configuraciones requeridas, se deben crear dos carpetas. En la primera, llamada “DATA”, se guardarán los archivos de datos que serán obtenidos desde el software DEWESoft. En la segunda carpeta, llamada “CONFIGURACIÓN – CONEXIÓN REMOTA CON SERVIDOR”, se almacenarán los archivos configurados para el envío de los archivos de datos.

Figura 72

Carpetas creadas para el envío de archivos de datos

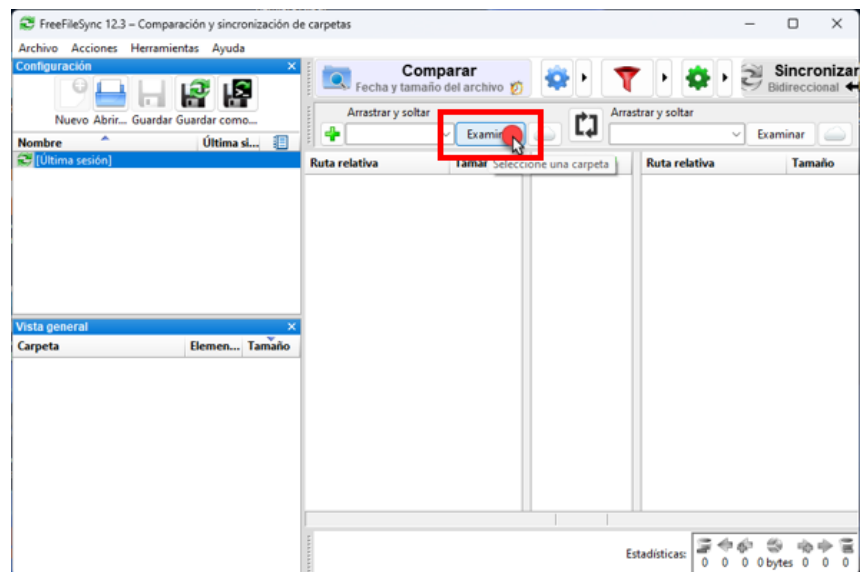


Fuente: Elaboración propia.

En el programa FreeFileSync, como carpeta a comparar, se selecciona la carpeta “DATA” creada anteriormente.

Figura 73

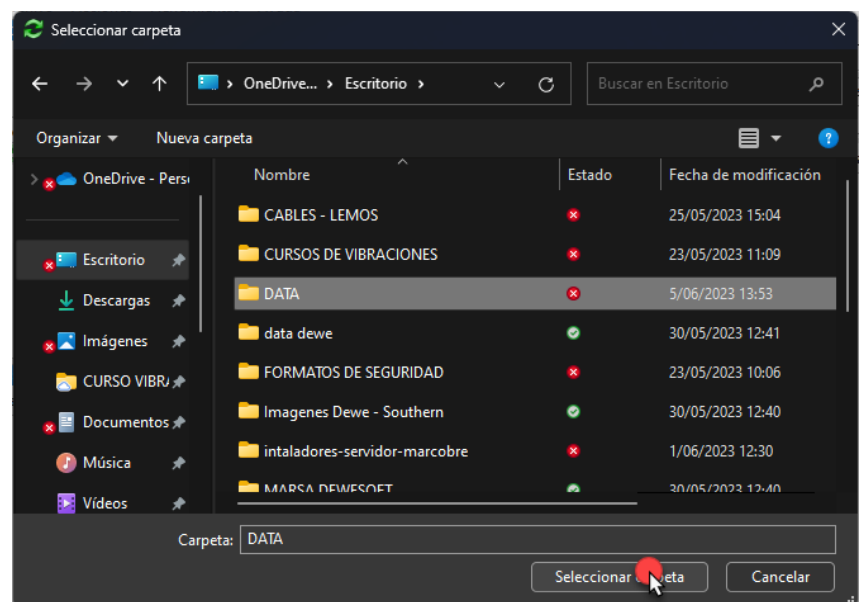
Software FreeFileSync



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74

Carpeta DATA

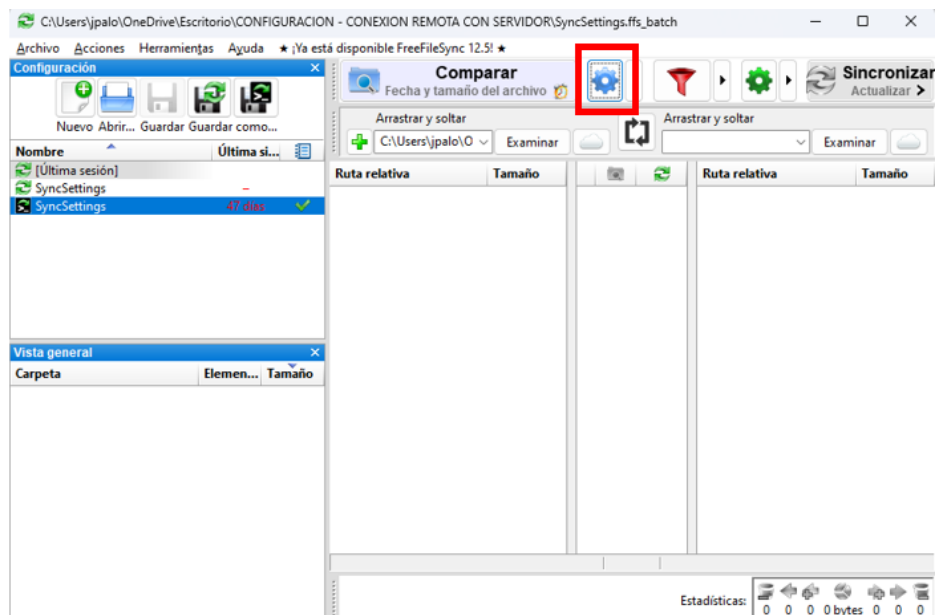


Fuente: Elaboración propia.

En el apartado de configuración de comparación, se selecciona la variante “Fecha y tamaño del archivo”, con lo cual se identificarán los archivos iguales. Estos serán identificados por la hora de modificación y por su tamaño.

Figura 75

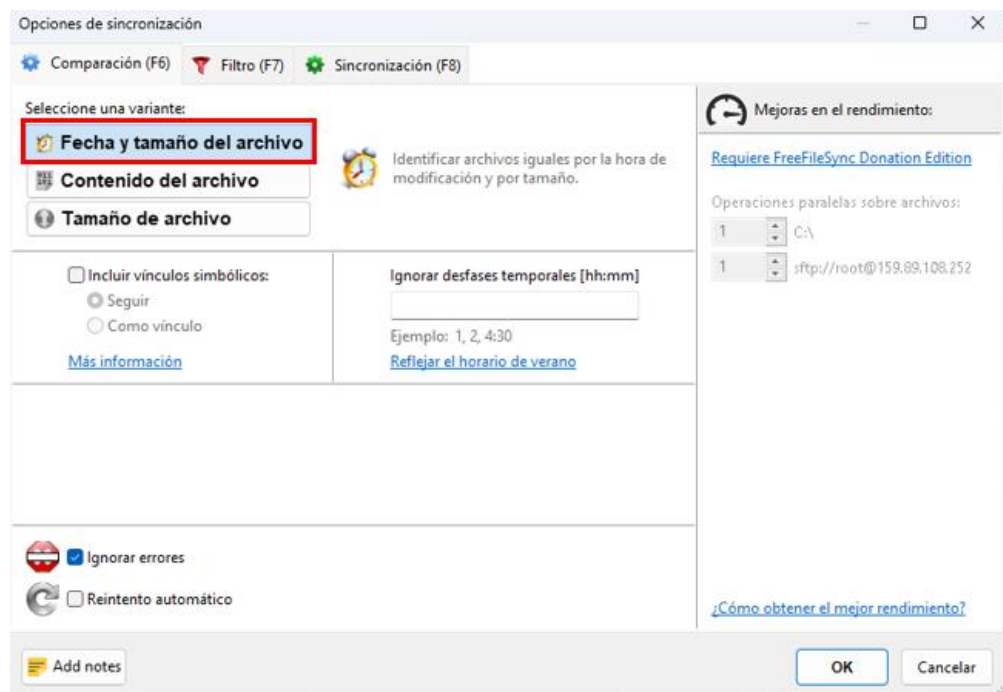
Software FreeFileSync



Fuente: Elaboración propia.

Figura 76

FreeFileSync – comparación

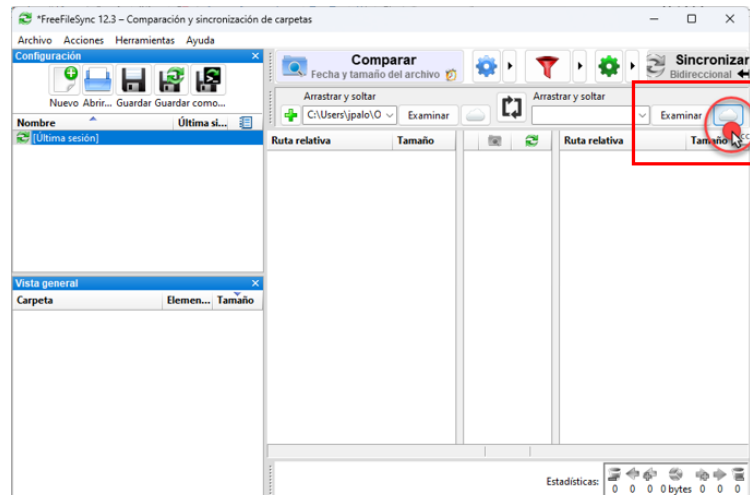


Fuente: Elaboración propia.

En la símbolo de nube del lado derecho del programa, se busca la dirección del servidor al cual se enviarán los archivos de datos.

Figura 77

Software FreeFileSync

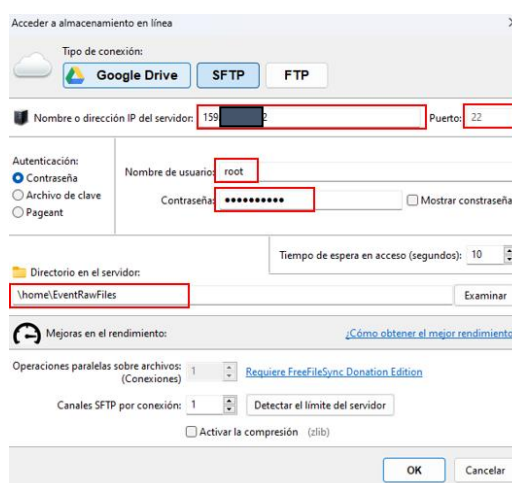


Fuente: Elaboración propia.

Se deben completar los apartados en los que se solicita la dirección IP del servidor, puerto, el nombre de usuario, la contraseña y la dirección de la carpeta del servidor en la que se desea guardar los archivos de datos enviados.

Figura 78

FreeFileSync – servidor

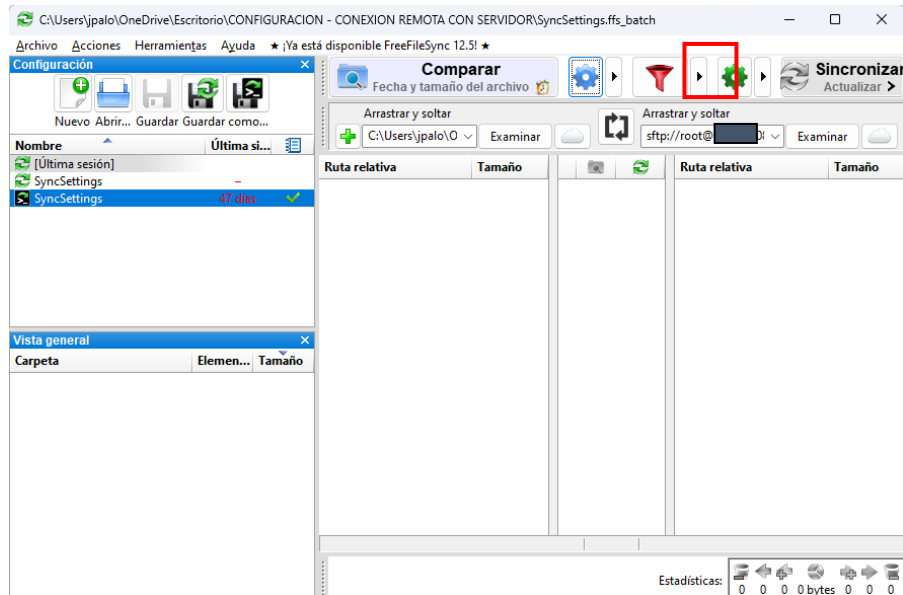


Fuente: Elaboración propia.

Por último, se realiza la configuración de sincronización.

Figura 79

Software FreeFileSync

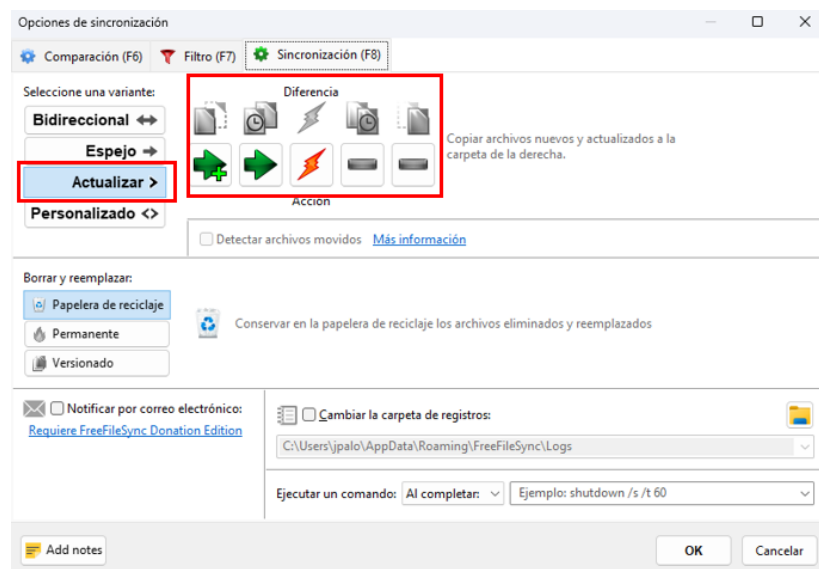


Fuente: Elaboración propia.

En este apartado se selecciona la variante “Actualizar” y se activa las opciones que nos brinda el software para el envío de datos, tal como se observa en la Figura 80.

Figura 80

FreeFileSync – sincronización



Fuente: Elaboración propia.

Las opciones que deben activarse se detallan en la *Tabla 21*.

Tabla 21

Configuración de opciones de sincronización

Logo	Descripción	Logo de acción	Acción
	El elemento existe sólo en el lado izquierdo		Copiar nuevo elemento a la derecha
	El lado izquierdo es más reciente		Actualizar elemento izquierdo
	No se puede categorizar el conflicto o elemento		Dejar como conflicto sin resolver
	El lado derecho es más reciente		No hacer nada
	El elemento existe sólo en el lado derecho		No hacer nada

Fuente: Elaboración propia.

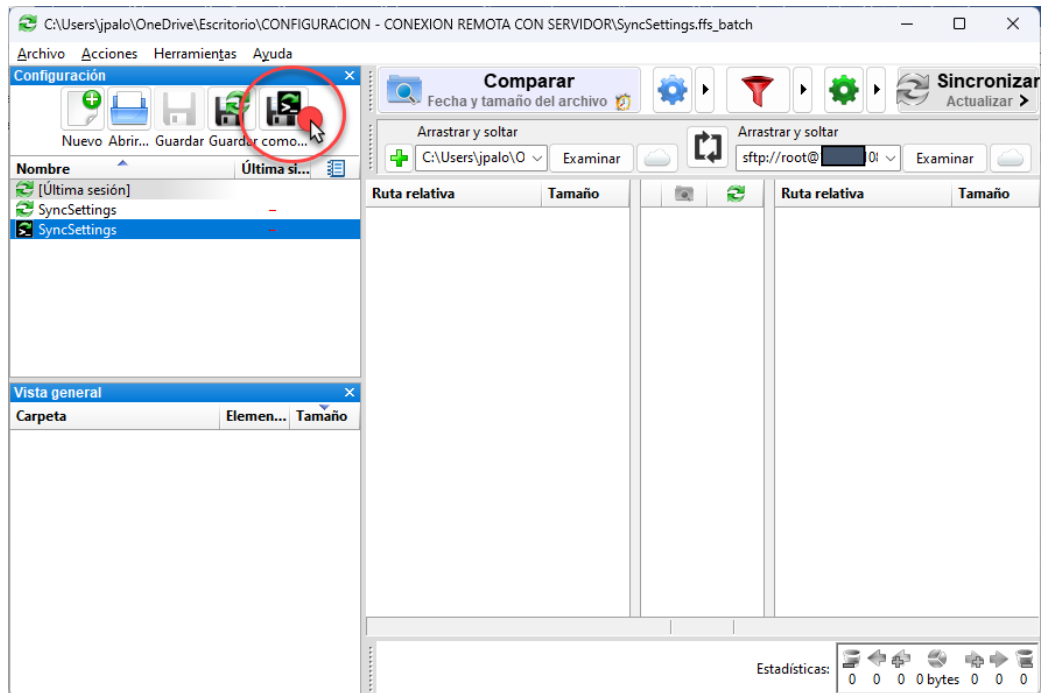
Con esta configuración se obtiene que los archivos nuevos que se guardan en la carpeta “DATA” (Lado izquierdo) sean enviados y actualizados en el servidor (Lado derecho).

Con las configuraciones ya terminadas en los apartados de “Comparar” y “Sincronizar” del software FreeFileSync, se guarda la configuración para así poder ejecutar las acciones configuradas.

Se selecciona la opción de “guardar archivo por lotes”

Figura 81

Software FreeFileSync

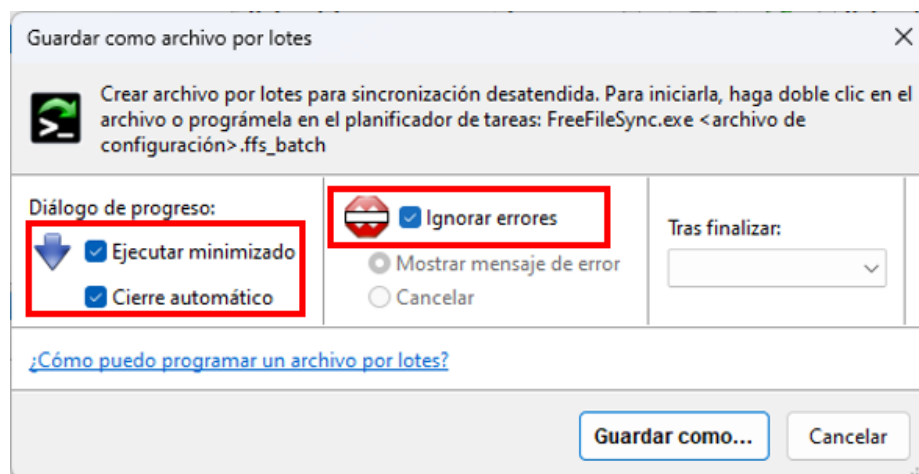


Fuente: Elaboración propia.

El guardado se configura como se muestra en la Figura 82 y se almacena en la carpeta “CONFIGURACIÓN – CONEXIÓN REMOTA CON SERVIDOR”.

Figura 82

FreeFileSync - guardar como archivos por lotes

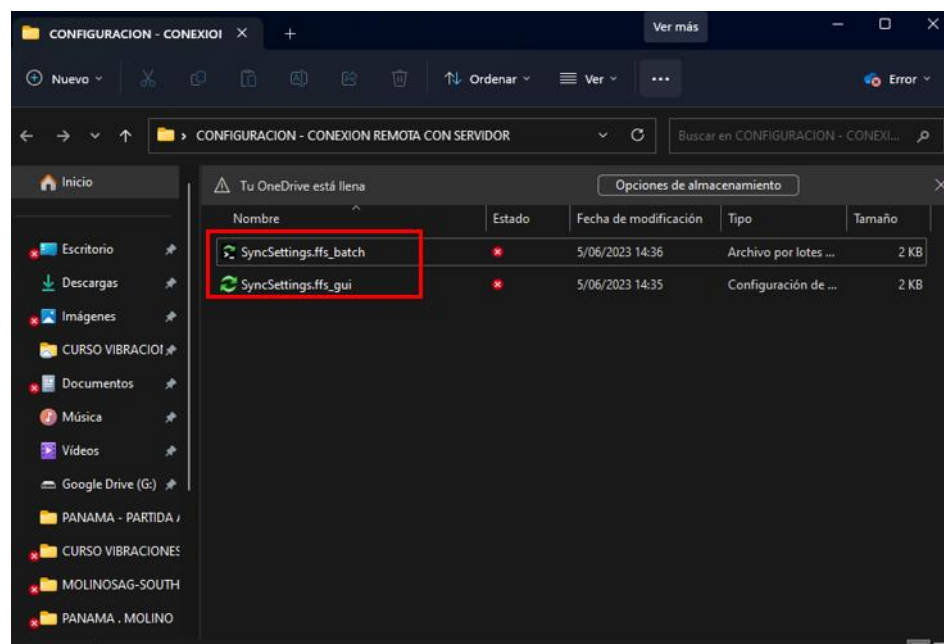


Fuente: Elaboración propia.

Al haber completado los pasos, se obtienen dos archivos. El archivo con la extensión .ffs_batch es el ejecutable con la configuración previamente establecida. Al ejecutar el archivo SyncSettings.ffs_batch, se enviarán los archivos de la carpeta “DATA” hacia el servidor.

Figura 83

Archivo. ffs_batch



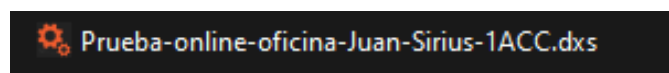
Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Configurar el software DEWESoftX para guardar los archivos de datos obtenidos en la carpeta “DATA”.

Se guarda la configuración de los canales que anteriormente se creó.

Figura 84

Configuración DEWESoft

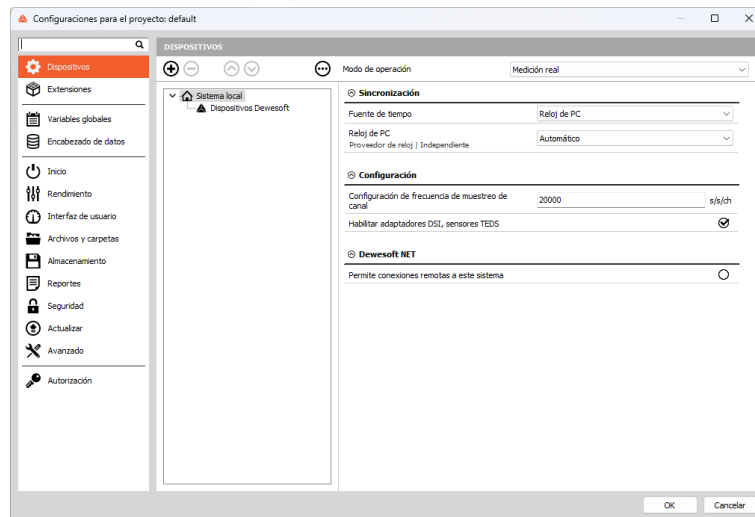


Fuente: Elaboración propia.

En la pantalla “Configuraciones para el proyecto: default” se realizan las configuraciones para guardar los archivos de datos en la carpeta “DATA”.

Figura 85

DEWESoft - configuración para el proyecto

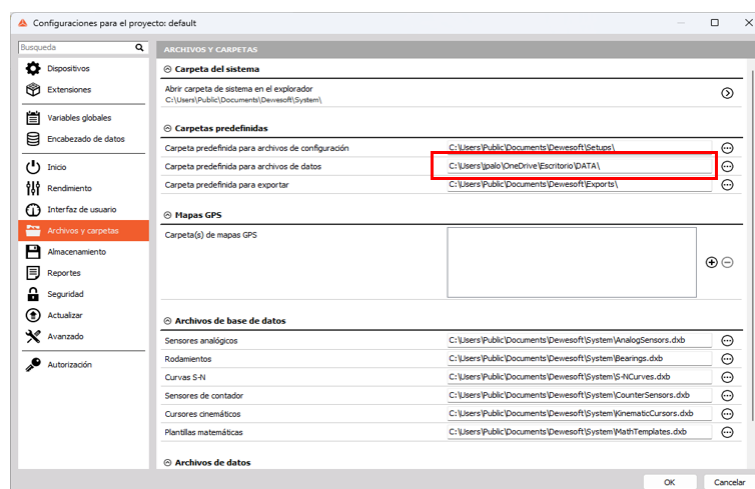


Fuente: Elaboración propia.

En la sección de archivos y carpetas, dentro del apartado de carpetas predefinidas, se ingresa la dirección de nuestra carpeta “DATA”. De esta manera, los archivos generados se guardarán en dicha carpeta, que posteriormente será enviada al servidor.

Figura 86

DEWESoft - configuraciones - archivos y carpetas

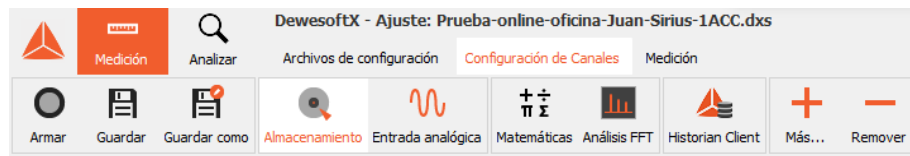


Fuente: Elaboración propia.

Para grabar los datos automáticamente cada vez que se presente un evento anormal, se realiza la siguiente configuración en el apartado de almacenamiento de la pestaña “Configuración de canales”.

Figura 87

DEWESoft - configuración de canales

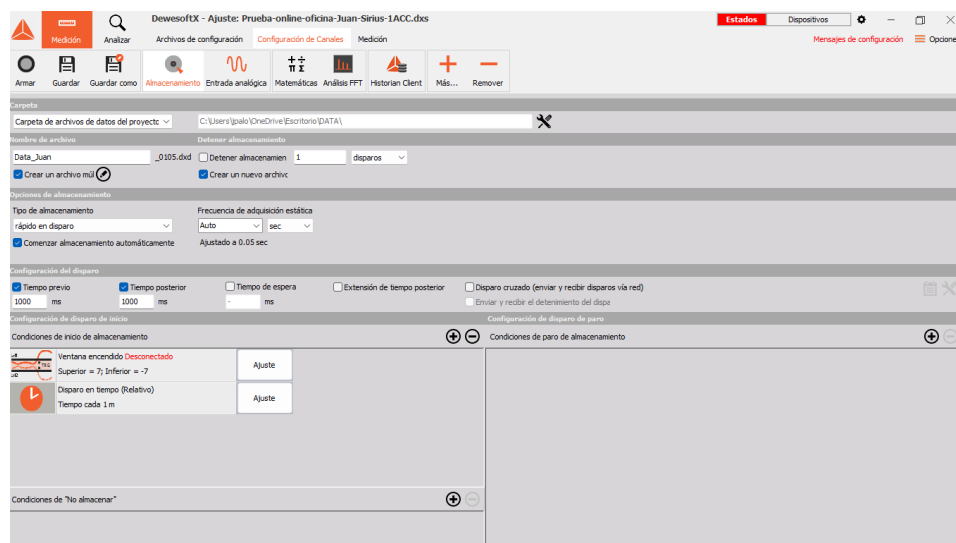


Fuente: Elaboración propia.

Se realiza las configuraciones mostradas a continuación en el apartado de Almacenamiento.

Figura 88

DEWESoft - configuración de canales – almacenamiento



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza las siguientes configuraciones en los siguientes apartados:

- Carpeta, nombre de archivo y detener almacenamiento

Figura 89

DEWESoft - almacenamiento configuraciones

Carpeta

Carpeta de archivos de datos del proyecto

C:\Users\jpalo\OneDrive\Escritorio\DATA\

Nombre de archivo

Data_Juan _0105.dxd

Detener almacenamiento

Detener almacenamiento 1 disparos

Crear un archivo múltiple

Crear un nuevo archivo

Fuente: Elaboración propia.

Carpeta: Verificar que la dirección de la carpeta en la cual se almacenarán los archivos creados sea nuestra carpeta “DATA” asignada para dicha labor.

Nombre de archivo: Se escribe el nombre con que se guardará el archivo y se debe activar la opción “Crear un archivo múltiple” para que, de esta manera, se creen varios archivos con nombre similar, variando solo en el número final asignado.

Detener almacenamiento: Se desactiva la opción “Detener almacenamiento” y se activa la opción “Crear un nuevo archivo”. De esta manera, al detectar la activación del trigger, que identifica un evento anormal, se generará un nuevo archivo en el cual se grabará la data.

- Opciones de almacenamiento

Figura 90

DEWESoft - opciones de almacenamiento

Opciones de almacenamiento

Tipo de almacenamiento

rápido en disparo

Frecuencia de adquisición estática

Auto sec

Comenzar almacenamiento automáticamente

Ajustado a 0.05 sec

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de almacenamiento: Se elige la opción “rápido en disparo” y se activa la opción “Comenzar almacenamiento automáticamente”. Esto se realiza para que, al detectar el disparo, se active el almacenamiento automáticamente.

- Configuración de disparo

Figura 91

DEWESoft - configuración del disparo

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo previo: Es el tiempo anterior al disparo que se almacenará en el archivo de datos que se graba una vez detectado el disparo del trigger.

Tiempo posterior: Es el tiempo posterior al disparo que se almacenará en el archivo de datos que se graba una vez detectado el disparo del trigger.

- Condiciones de inicio de almacenamiento

En este apartado, se ingresan las condiciones que activarán el disparo del trigger. Para establecer las condiciones del trigger, se agrega y se realiza el ajuste de la condición deseada.

Figura 92

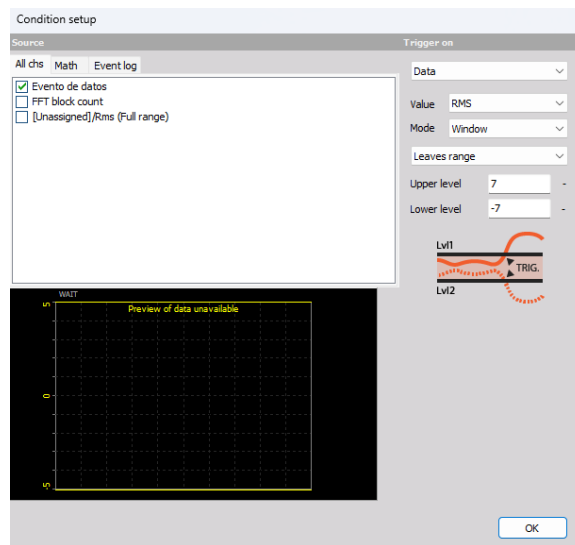
Condiciones de inicio de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las condiciones, se eligen las opciones que se desean monitorear, junto con sus rangos aceptables. Cuando las magnitudes medidas superan estos rangos, se activa el trigger.

Figura 93

DEWESoft - condiciones de disparo por magnitud medida

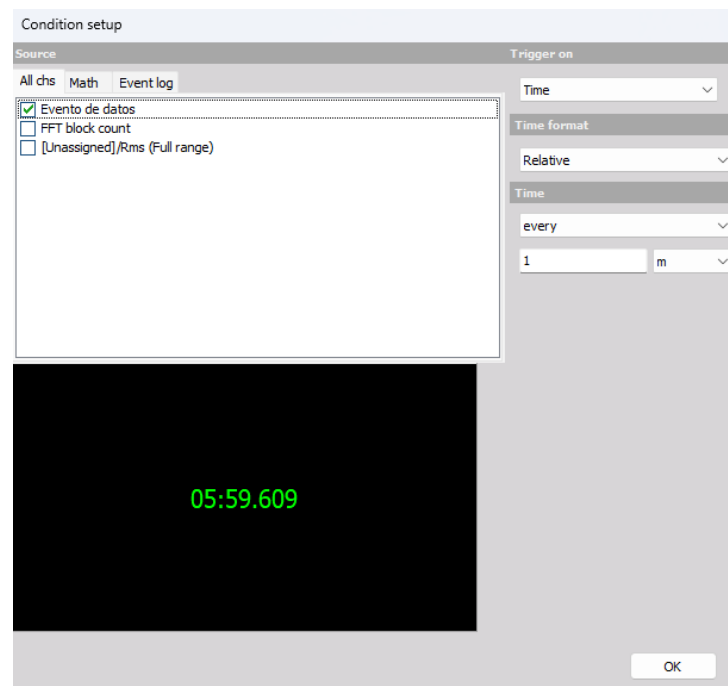


Fuente: Elaboración propia.

También es posible realizar una condición que active el trigger a una cierta hora, como se muestra en la Figura 94.

Figura 94

DEWESoft - condiciones de disparo por tiempo



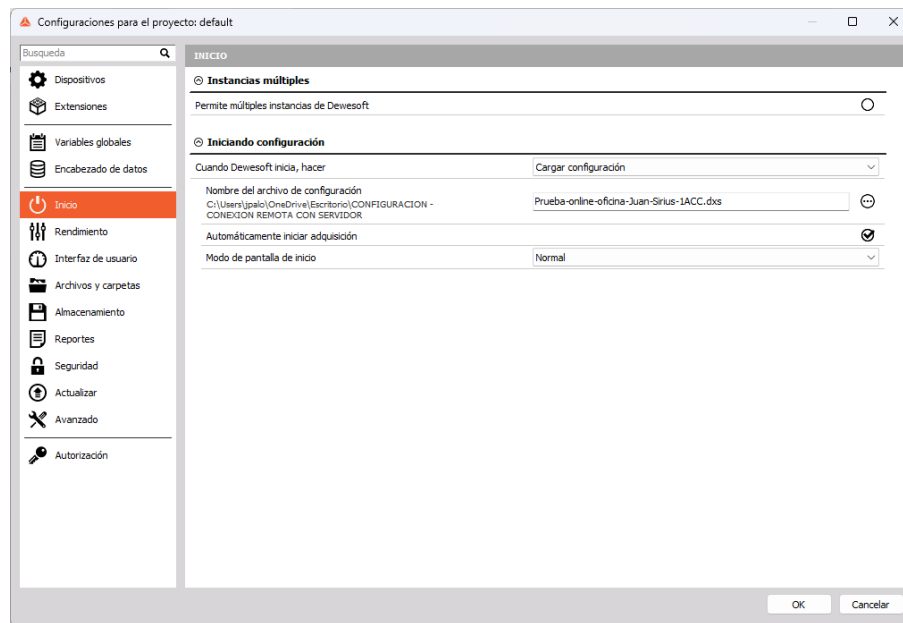
Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Iniciar proceso automáticamente.

Finalmente, una vez realizadas todas la configuraciones para adquirir la data deseada, se debe ir a Configuraciones y, en el apartado de Inicio, se realizan las siguientes configuraciones por defecto.

Figura 95

DEWESoft - Configuraciones para el proyecto – Inicio



Fuente: Elaboración propia.

Se coloca como configuración deseada la que se realizó anteriormente y, además, se marca la casilla “Automáticamente iniciar la adquisición”.

Figura 96

DEWESoft – Configuraciones para el proyecto – cargar configuración predeterminada



Fuente: Elaboración propia.

Con todas las configuraciones realizadas, se procede a monitorear ejecutando el archivo con extensión “.dxx”, el cual se indica en la Figura 84, donde se encuentran las configuraciones para el envío de datos globales y el guardado de los archivos de datos en la carpeta “DATA”.

Además, al ejecutar el archivo. ffs_batch creado por el programa FreeFileSync, que se muestra en la Figura 83, se comenzará a enviar los datos hacia el servidor.

c) Auto ejecución del sistema

Para evitar que un corte de luz afecte el servicio de monitoreo, se debe diseñar el sistema de tal manera que pueda ejecutarse automáticamente una vez que se restablezca el suministro de energía, sin presentar problemas, y que comience con el envío de los datos globales, el guardado de archivos de datos y su posterior envío hacia el servidor.

Para lograr esto, es necesario crear dos archivos con extensión .bat que ejecuten los programas anteriormente configurados. Además, se crearán dos archivos con extensiones .vbs, autoejecutables al encender la PC, para activar los dos archivos .bat mencionados. De esta manera, se obtienen dos archivos .vbs que ejecutan los archivos .bat, los cuales, a su vez, ejecutan los programas configurados de DEWESoftX y FreeFileSync.

Crea los archivos DEWESoft.bat y SyncSettings.bat

El archivo DEWESoft.bat sirve para ejecutar el software DEWESoft.exe. Este archivo se genera como un archivo puente que activa el programa automáticamente.

Figura 97

Archivo DEWESoft.bat

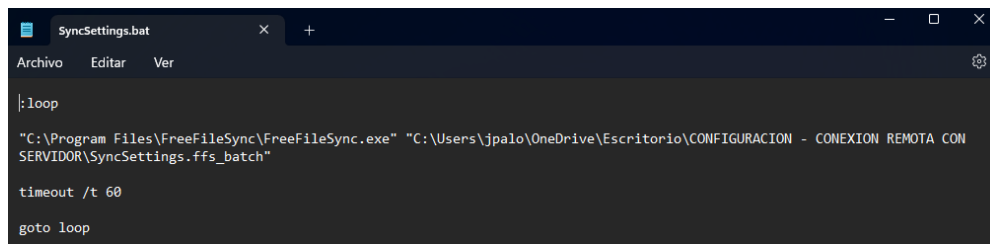


Fuente: Elaboración propia.

El archivo SyncSettings.bat sirve para ejecutar el archivo SyncSettings.ffs_batch. Este archivo se genera como archivo puente para activar el envío de los archivos de datos automáticamente cada 60 segundos.

Figura 98

Archivo SyncSettings.bat



```
:loop
"C:\Program Files\FreeFileSync\FreeFileSync.exe" "C:\Users\jpalo\OneDrive\Escritorio\CONFIGURACION - CONEXION REMOTA CON SERVIDOR\SyncSettings.ffs_batch"
timeout /t 60
goto loop
```

Fuente: Elaboración propia.

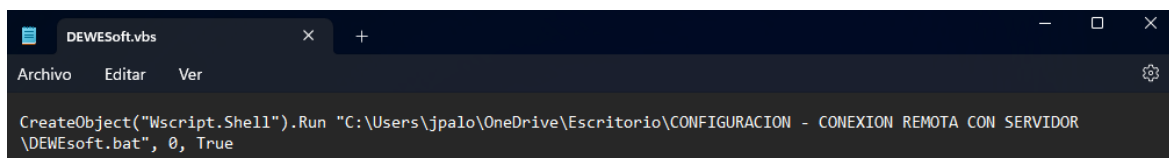
Ambos archivos, DEWESoft.bat y SyncSettings.bat son programados en el block de notas y, una vez finalizadas las líneas de código, se cambia la extensión .txt por .bat para convertirlos en el archivo requerido.

Crear los archivos DEWESoft.vbs y SyncSettings.vbs.

El archivo DEWESoft.vbs sirve para ejecutar el archivo DEWESoft.bat cuando se enciende la computadora, y de esta manera ejecutar el software DEWESoft.exe mediante dicho archivo.

Figura 99

Archivo DEWESoft.vbs



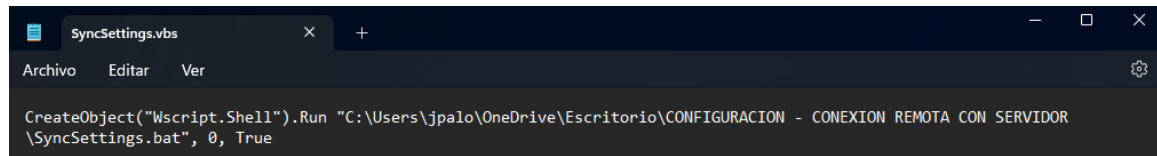
```
CreateObject("Wscript.Shell").Run "C:\Users\jpalo\OneDrive\Escritorio\CONFIGURACION - CONEXION REMOTA CON SERVIDOR\DEWESoft.bat", 0, True
```

Fuente: Elaboración propia.

El archivo SyncSettings.vbs sirve para ejecutar el archivo SyncSettings.bat cuando se enciende la computadora, y de esta manera ejecutar el archivo SyncSettings.ffs_batch mediante dicho archivo.

Figura 100

Archivo SyncSettings.vbs



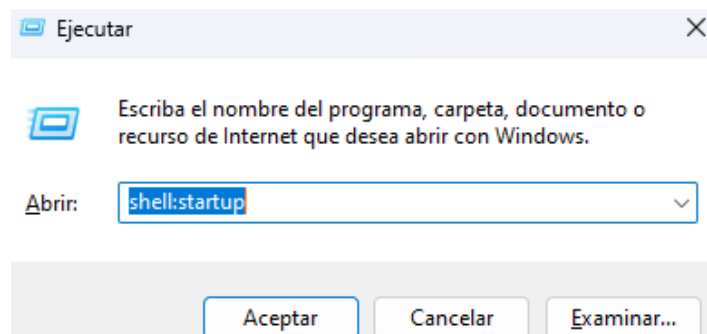
Fuente: Elaboración propia.

Ambos archivos, DEWESoft.vbs y SyncSettings.vbs son programados en el block de notas y, una vez finalizadas las líneas de código, se cambia la extensión .txt por .vbs para convertirlos en los archivos requeridos. Los archivos .vbs deben guardarse en la carpeta Startup de Windows, de esta manera, podrán ejecutarse automáticamente al encender la computadora.

Para acceder a la carpeta Startup, se ejecuta el comando mostrado en la Figura 101.

Figura 101

Comando shell: startup



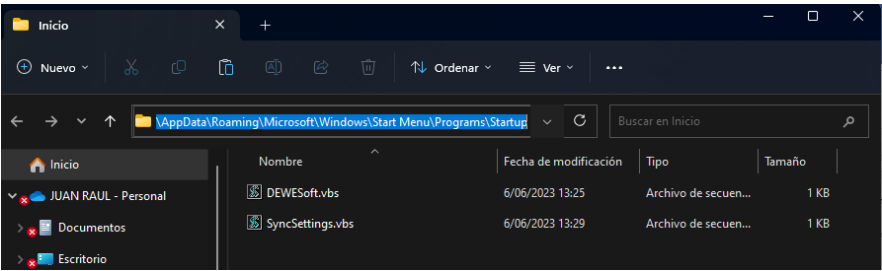
Fuente: Elaboración propia.

Una vez dentro de la carpeta Startup, se mueve los archivos con extensión .vbs hacia esta carpeta.

Los archivos con extensión “.vbs” se mueven hacia la carpeta Startup “C:\Users\jpalo\AppData\Roaming\Microsoft\Windows\Start Menu\Programs\Startup”.

Figura 102

Carpeta startup



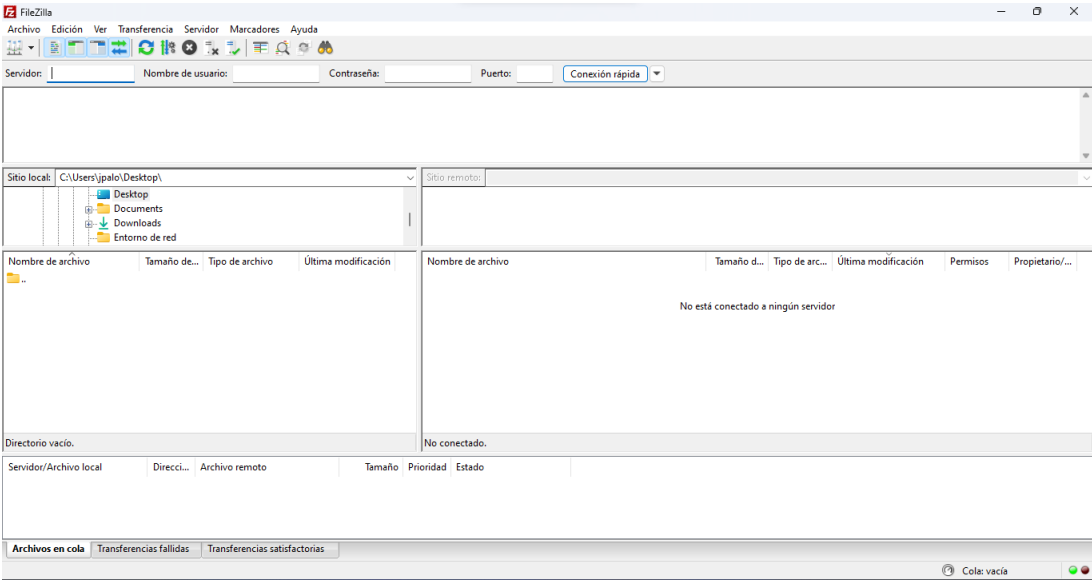
Fuente: Elaboración propia.

d) Acceder al servidor

Para acceder a los datos del servidor desde cualquier computadora, se utilizará el programa FileZilla Client. Al ingresar las credenciales del servidor, se tendrá acceso para navegar a través de las carpetas que contiene el servidor y así acceder a los archivos de datos guardados.

Figura 103

FileZilla



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

4. Análisis y discusión de resultados

4.1. Análisis y discusión de la implementación del sistema de monitoreo

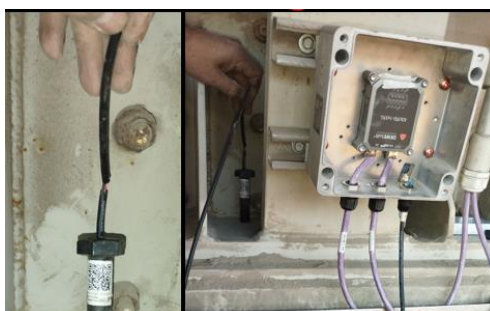
4.1.1. Instalación de sensores

Las instalaciones de los sensores de strain gages de perno, strain gages lineales y acelerómetros mem's se realizó con éxito, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.

Al instalar cada sensor, se debe verificar la continuidad de los cables para evitar que presenten discontinuidad, lo cual es un efecto de mala instalación, cables rotos o daño causado al doblar los cables durante la instalación.

Figura 104

Instalación de strain gage de perno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 105

Instalación de strain gage lineal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 106

Instalación de acelerómetro mem's



Fuente: Elaboración propia.

Como se observan en las imágenes, los sensores han sido instalados correctamente, de forma segura y firme, para que la vibración de la estructura no afecte ni afloje los sensores y ocasione lecturas erróneas.

4.1.2. Implementación del tablero de energía

El armado de los componentes del tablero de energía fue realizado con éxito con ayuda de especialista. La posición de los componentes se ha mantenido en su mayoría tal como fue diseñada, aunque con pequeñas modificaciones debido a situaciones que se presentaron en pleno desarrollo de la instalación.

Figura 107

Tablero de energía



Fuente: Elaboración propia.

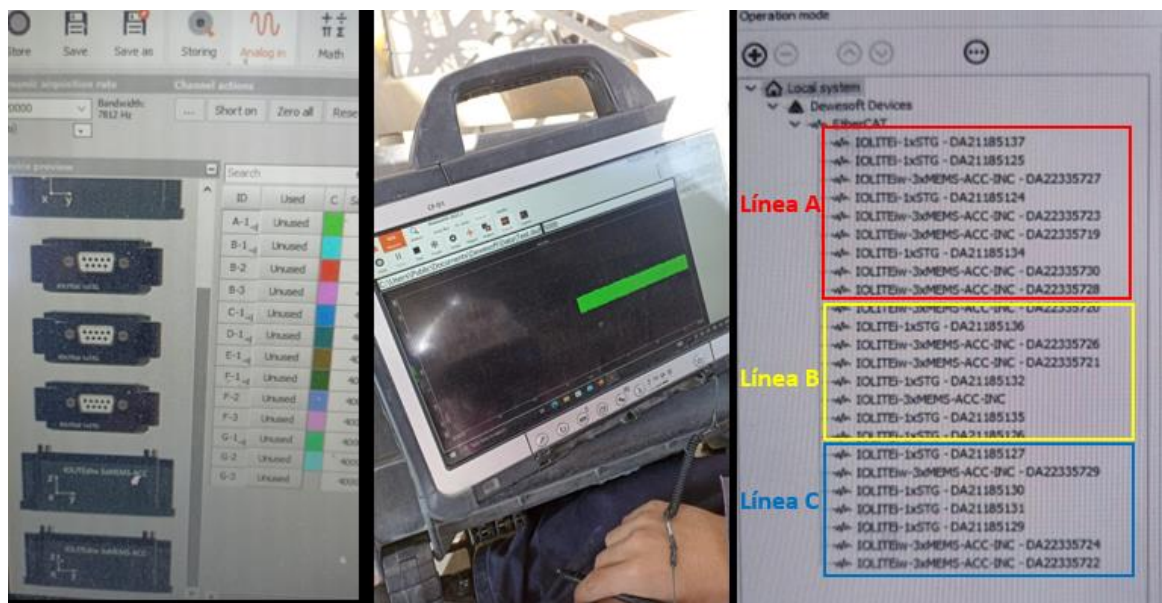
Como se observa en la Figura 107, la implementación es correcta y, además, se verificó que los cables no presenten daños y que cada uno se encuentre en la posición correcta para evitar desperfectos o cortocircuitos.

4.1.3. Verificación de conexiones

Ya con los sensores instalados y el tablero de energía suministrando energía a los componentes del sistema de monitoreo, se procede a confirmar que todos los sensores sean detectados.

Figura 108

Reconocimiento de sensores en el software DEWESoft



Fuente: Elaboración propia.

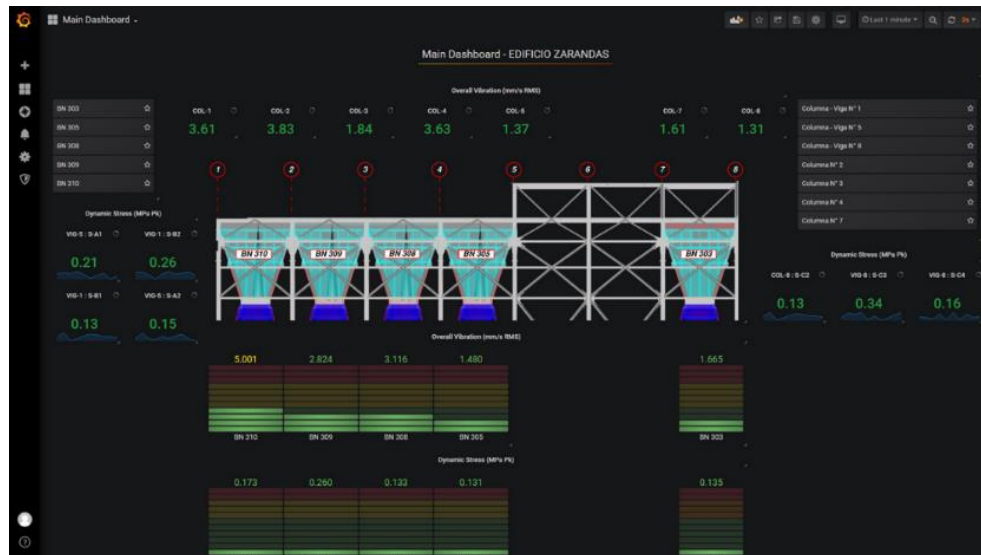
Como se aprecia en la Figura 108, todos los sensores de la línea A, línea B y línea C han sido detectados por el software.

Con todos los sensores detectados se procedió a realizar las configuraciones de cada uno de los sensores tal como se explicó en el capítulo 3.

4.1.4. Panel de monitoreo online

Figura 109

Pantalla de monitoreo online



Fuente: Elaboración propia.

El sistema, además de mostrar los datos, también cuenta con alarmas los cuales cambian de color para notificar que un problema se está presentando. Como se puede observar en la Figura 110, se han registrado una alta vibración en el acelerómetro mem's en la dirección del eje z.

Figura 110

Pantalla específica de monitoreo online



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. *Envío de archivos de datos*

Para el envío de archivos de datos, se realizaron configuraciones para que esta sea guardada en una carpeta creada en el equipo. Posteriormente, los archivos son enviados hacia un servidor donde pueden ser descargados cuando sea necesario analizar a profundidad un problema que se haya presentado.

Figura 111

DEWESoft - Adquisición de data



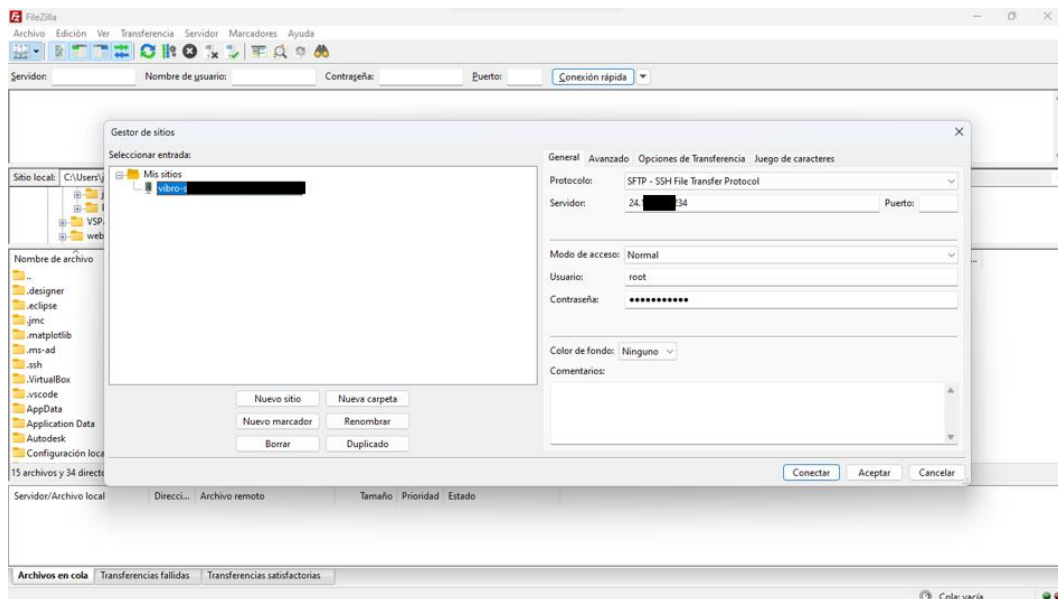
Fuente: Elaboración propia.

Los archivos de datos recolectados por el software DEWESoft se almacenan en la carpeta “DATA” de la computadora, para luego ser enviados al servidor por el programa FreeFileSync.

Para verifica que los archivos de datos hayan sido enviados correctamente al servidor, se utilizará el programa FileZilla. A través de este software, el usuario se conectará al servidor donde se almacenan los archivos de datos para realizar la verificación.

Figura 112

FileZilla – Ventada de acceso

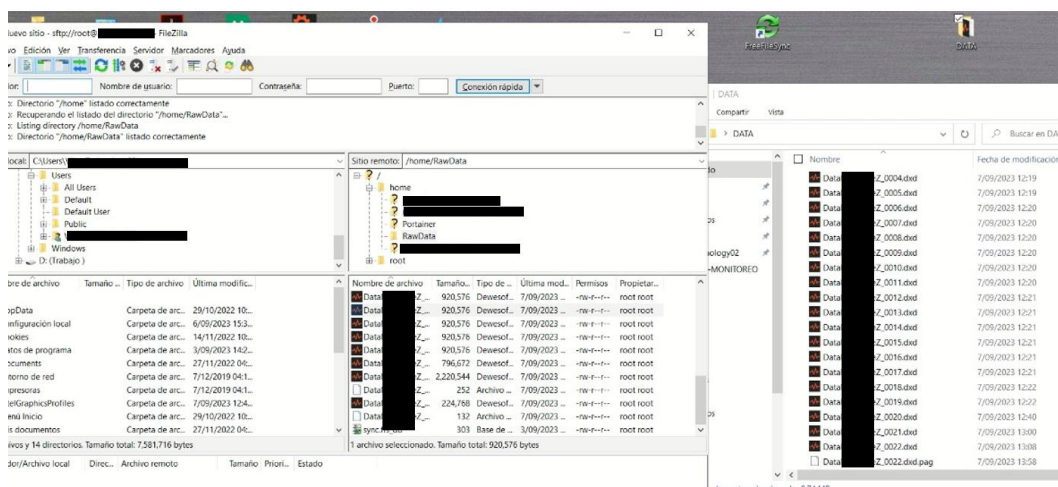


Fuente: Elaboración propia.

Al ingresar al servidor, será necesario dirigirse a la carpeta home/RawData, donde se almacenan los archivos de datos creados. En la Figura 113 se observa que los archivos de datos han sido transferidos correctamente. Esto se verifica al observar la fecha de creación de los archivos de datos y con la fecha de recepción en el servidor.

Figura 113

FileZilla – Conexión con servidor



Fuente: Elaboración propia.

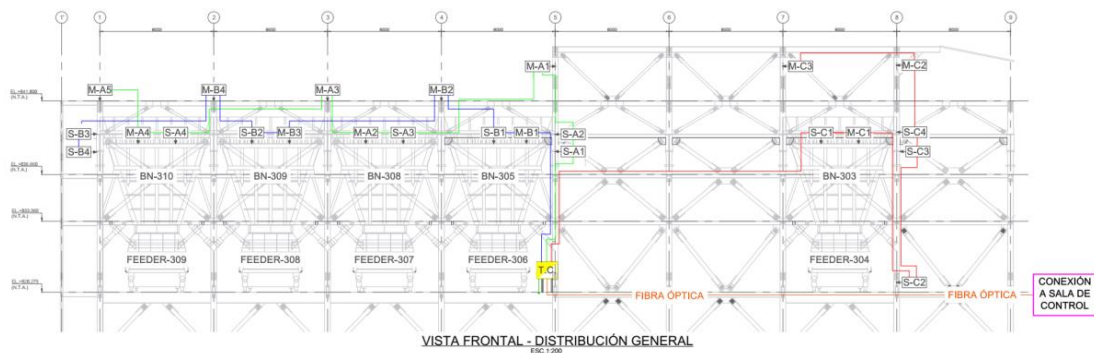
4.2. Análisis y estudio de la estructura de zarandas con la data obtenida

En la Figura 114 se puede apreciar que los sensores están ubicados en las columnas 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8. Además, los bins que están siendo monitoreados corresponden a los BN-310, BN-309, BN-308, BN-305 y BN-303.

Cada columna y bin (BN) son analizados con los archivos de datos obtenidos del sistema de monitoreo, con el fin de estudiar la condición estructural en la que se encuentran.

Figura 114

Plano de distribución de sensores – vista frontal



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Análisis de vibraciones

Para el estudio de las condiciones de las estructuras “BN”, es crucial considerar que están construidas con acero ASTM A-36. Además, los pernos analizados son pernos estructurales ASTM A490. Las características mecánicas de estos materiales se detallan en la Tabla 22, conforme a las normas ASTM.

Tabla 22

Propiedades físicas de materiales analizados

Material	Limite elástico	Resistencia tracción	% Elongación
A -36	250 Mpa	550 Mpa	21
A490	896 Mpa	1034 Mpa	14

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos valores, se comparan los esfuerzos obtenidos mediante los strain gages con el límite elástico del material. De esta manera, se tendrá la seguridad de que el material esté trabajando dentro de un rango seguro, asegurando así su correcto funcionamiento estructural.

Para la información obtenida de los sensores mem's, se realizará el estudio de la tendencia de la velocidad RMS de la estructura. Debido a la ausencia de normas que definan los valores correspondientes a operación normal, advertencia y operación no adecuada, se tomarán como referencia los valores promedio medidos al inicio del funcionamiento de la estructura. A partir de estos valores, se establecerán los valores de advertencia y de operación no adecuada, los cuales se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23

Rangos de vibración definidos

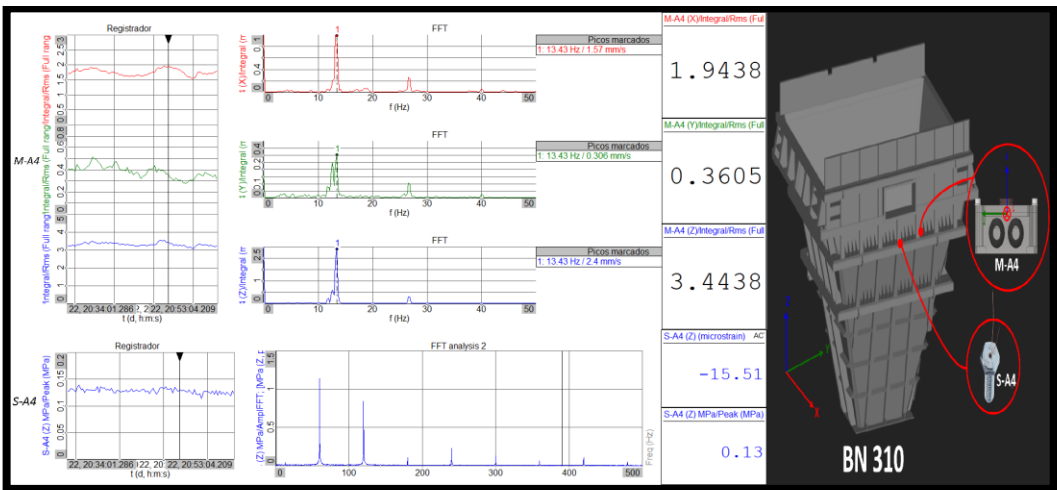
	Rangos	Rango de velocidad en RMS
Operación normal	1k < 3k	1 mm/s < 3 mm/s
Advertencia	3k < 5k	3 mm/s < 5 mm/s
Operación no adecuada	> 5k	> 5 mm/s

Fuente: Elaboración propia.

BN-310

Figura 115

Información de sensores del BN-310



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-A4:

Tabla 24

Información del sensor M-A4

Mem's M-A4	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.9438	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.3605	13.43 Hz	Operación normal
Z	3.4438	13.43 Hz	Advertencia

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-A4:

Tabla 25

Información del sensor S-A4

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-A4	0.13	-15.51

Fuente: Elaboración propia.

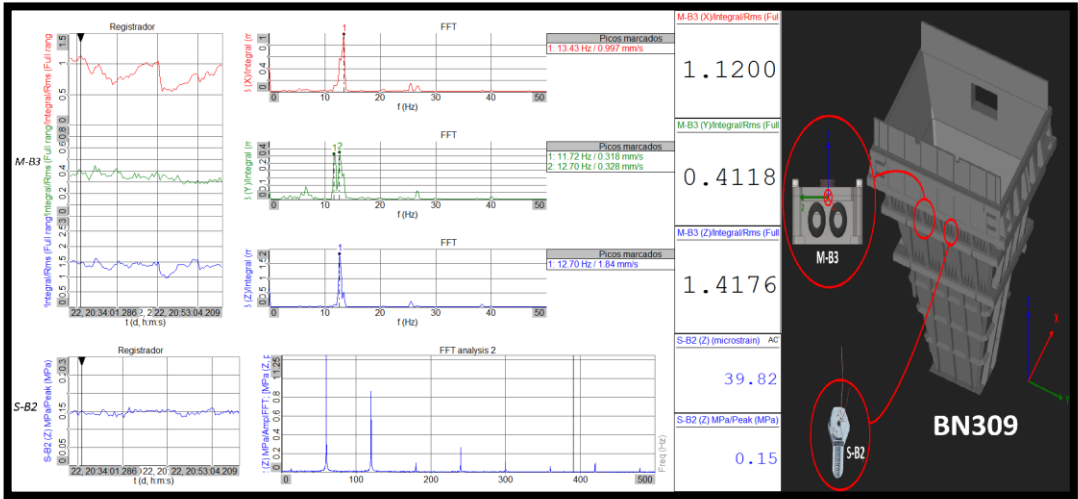
Observaciones:

- La vibración en el eje z está en la zona de alerta, por lo cual es recomendable llevar un seguimiento de su tendencia y efectuar una inspección en la zona cercana al sensor.
- Los valores de esfuerzos medidos son muy bajos, por lo que no representan un riesgo para la integridad del perno.
- Las gráficas de valores totales muestran estabilidad en los valores globales de vibración y de deformación, lo cual indica un comportamiento estructural adecuado en general.

BN-309

Figura 116

Información de sensores del BN-309



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-B3:

Tabla 26

Información del sensor M-B3

Mem's M-B3	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.1200	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.4118	12.7 Hz	Operación normal
Z	1.4176	12.7 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-B2:

Tabla 27

Información del sensor S-B2

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-B2	0.15	39.82

Fuente: Elaboración propia.

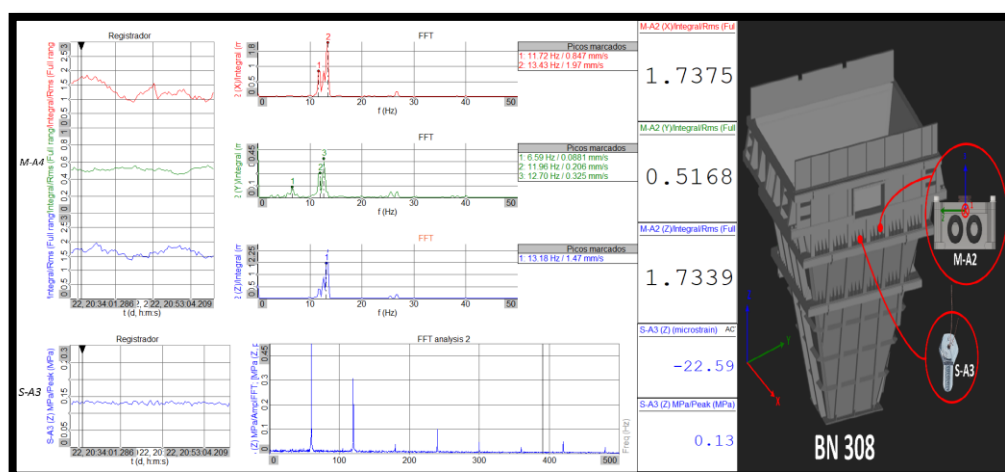
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango aceptable, indicando condiciones operativas adecuadas.
- Las gráficas de tendencias de vibración muestran estabilidad en los valores medidos, con la excepción de la dirección “X”, en la cual presenta oscilación.
- Los valores de esfuerzos medidos son muy bajos y la gráfica de tendencia de deformación se mantiene estable, por lo que no se identifica ningún problema en el estado del perno.

BN-308

Figura 117

Información de sensores del BN-308



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-A2:

Tabla 28

Información del sensor M-A2

Mem's M-A2	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.7375	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.5168	12.7 Hz	Operación normal
Z	1.7339	13.18 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-A3:

Tabla 29

Información del sensor S-A3

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-A3	0.13	-22.59

Fuente: Elaboración propia.

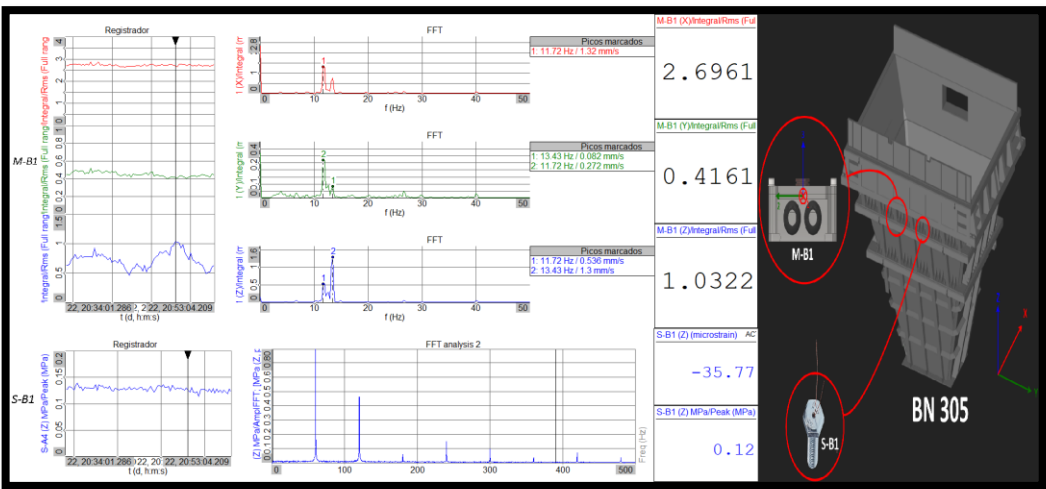
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones, lo que indica que el BN-308 se encuentra en buenas condiciones.
- Los valores de esfuerzos medidos son muy bajos, por lo que no representan un riesgo para la integridad del perno.
- Las gráficas de tendencias muestran estabilidad tanto en los valores globales de vibración como en los de deformación, lo cual respalda el buen estado general de la estructura en esta zona.

BN-305

Figura 118

Información de sensores del BN-305



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-B1:

Tabla 30

Información del sensor M-B1

Mem's M-B1	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	2.6961	11.72 Hz	Operación normal
Y	0.4161	11.72 Hz	Operación normal
Z	1.0322	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-B1:

Tabla 31

Información del sensor S-B1

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-B1	0.12	-35.77

Fuente: Elaboración propia.

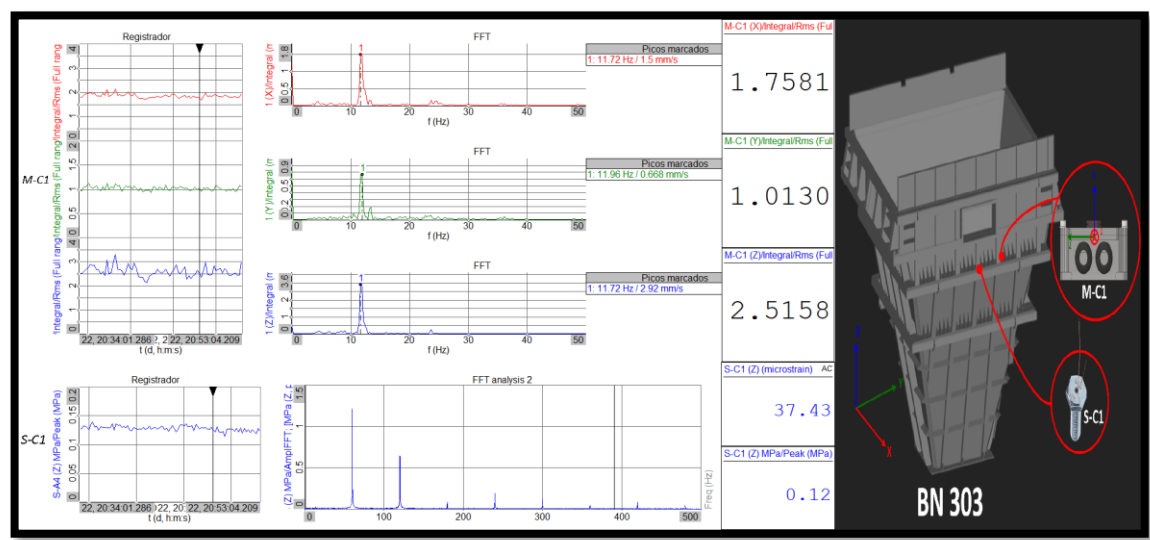
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones, lo que indica un comportamiento estructural adecuado.
- Los valores de esfuerzos medidos son muy bajos, por lo que no representa un problema para la integridad del perno.
- Las gráficas de tendencias muestran estabilidad en los valores globales de vibración y de deformación, con excepción del eje Z del sensor M-B1, donde se observa una variación que debe ser monitoreada.

BN-303

Figura 119

Información de sensores del BN-303



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-C1:

Tabla 32

Información del sensor M-C1

Mem's M-C1	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.7581	11.72 Hz	Operación normal
Y	1.0130	11.96 Hz	Operación normal
Z	2.5158	11.72 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-C1:

Tabla 33

Información del sensor S-C1

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-C1	0.12	37.43

Fuente: Elaboración propia.

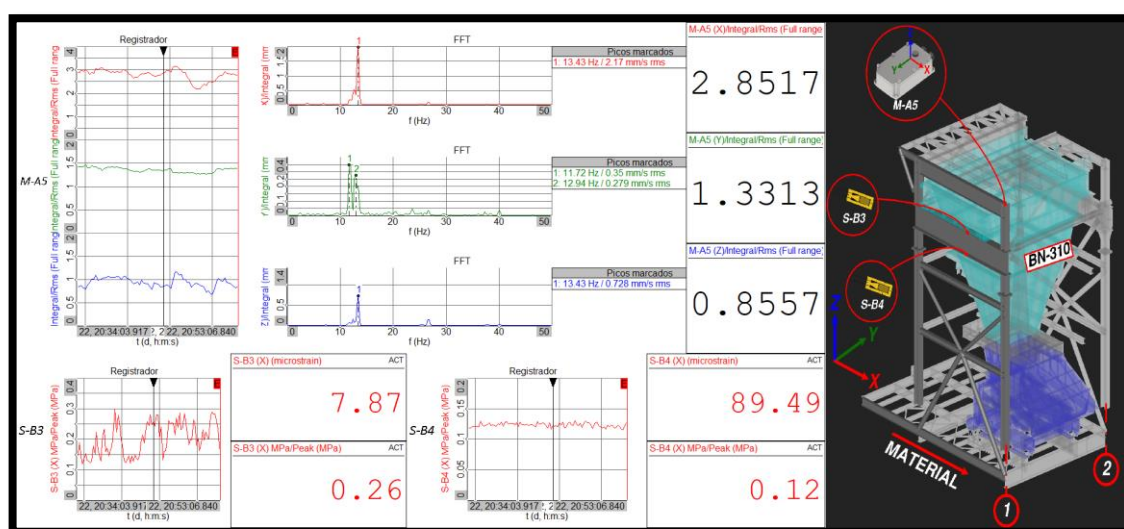
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran en condiciones normal de operación en las tres direcciones, lo que indica un comportamiento estructural adecuado.
- Los valores de esfuerzos medidos son muy bajos por lo cual no representa un problema para la integridad del perno..
- Las gráficas de tendencias muestran estabilidad en los valores globales de vibración y de deformación.

Columna 1

Figura 120

Información de sensores en columna 1



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-A5:

Tabla 34

Información del sensor M-A5

Mem's M-A5	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	2.8517	13.43 Hz	Operación normal
Y	1.3313	11.72 Hz	Operación normal
Z	0.8557	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-B3 y S-B4:

Tabla 35

Información de los sensores S-B3 y S-B4

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-B3	0.26	7.87
S-B4	0.12	89.49

Fuente: Elaboración propia.

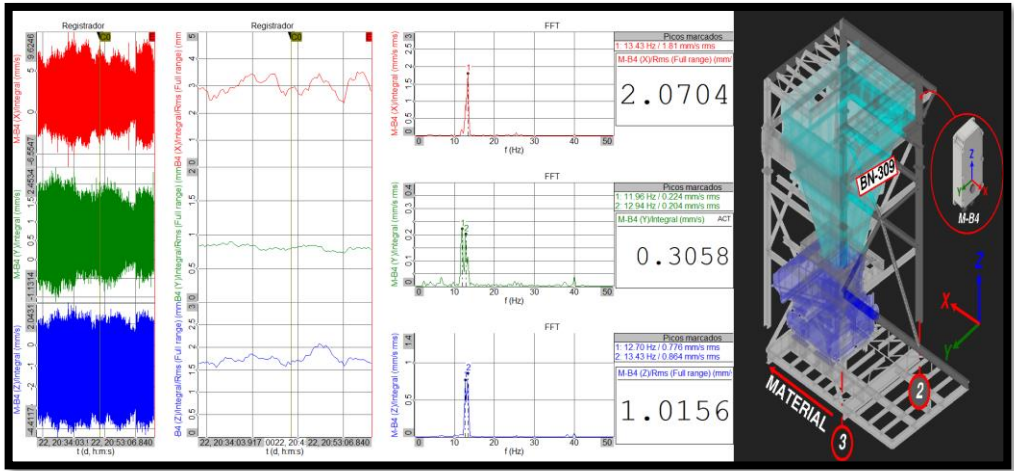
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones.
- Los valores de esfuerzos medidos en los strain gages S-B3 y S-B4 son bajos, por lo que no representan un riesgo para la estructura.
- Aunque el valor de esfuerzo registrado en el strain gage S-B3 es bajo, su gráfica de tendencia presenta una mayor variabilidad en comparación con la de S-B4, lo cual podría indicar una mayor flexibilidad en la parte superior de la viga donde se encuentran instalados.

Columna 2

Figura 121

Información de sensores en columna 2



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-B4:

Tabla 36

Información del sensor M-B4

Mem's M-B4	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	2.0704	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.3058	11.96 Hz	Operación normal
Z	1.0156	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

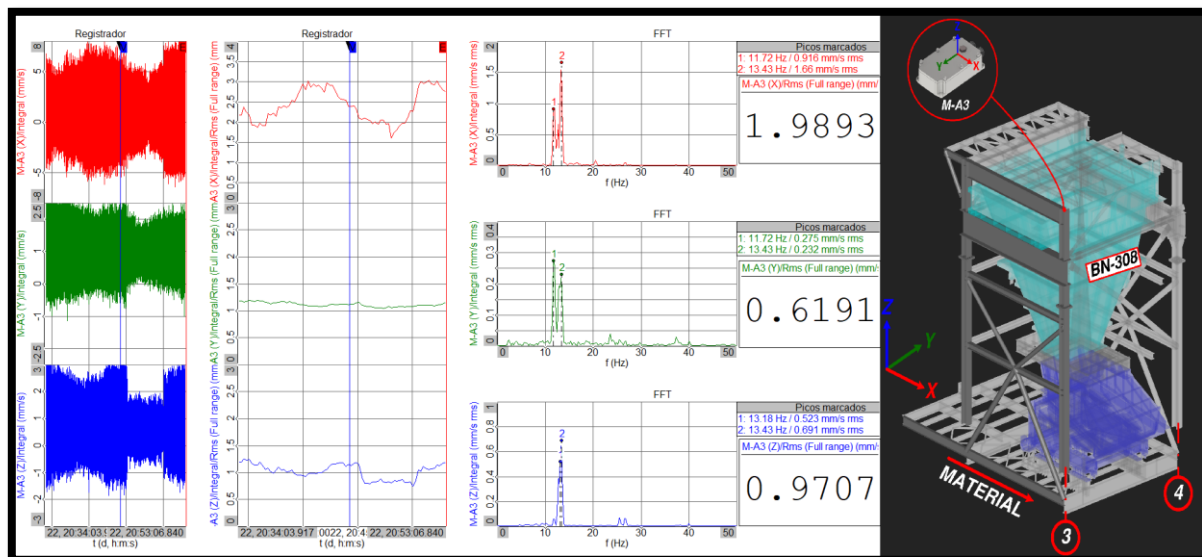
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones.
- Las gráficas de tendencia muestran estabilidad a lo largo del período de monitoreo.
- La columna 2 se encuentra en buenas condiciones estructurales, sin indicios de comportamiento anómalo.

Columna 3

Figura 122

Información de sensores en columna 3



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-A3:

Tabla 37

Información del sensor M-A3

Mem's M-A3	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.9893	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.6191	11.72 Hz	Operación normal
Z	0.9707	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

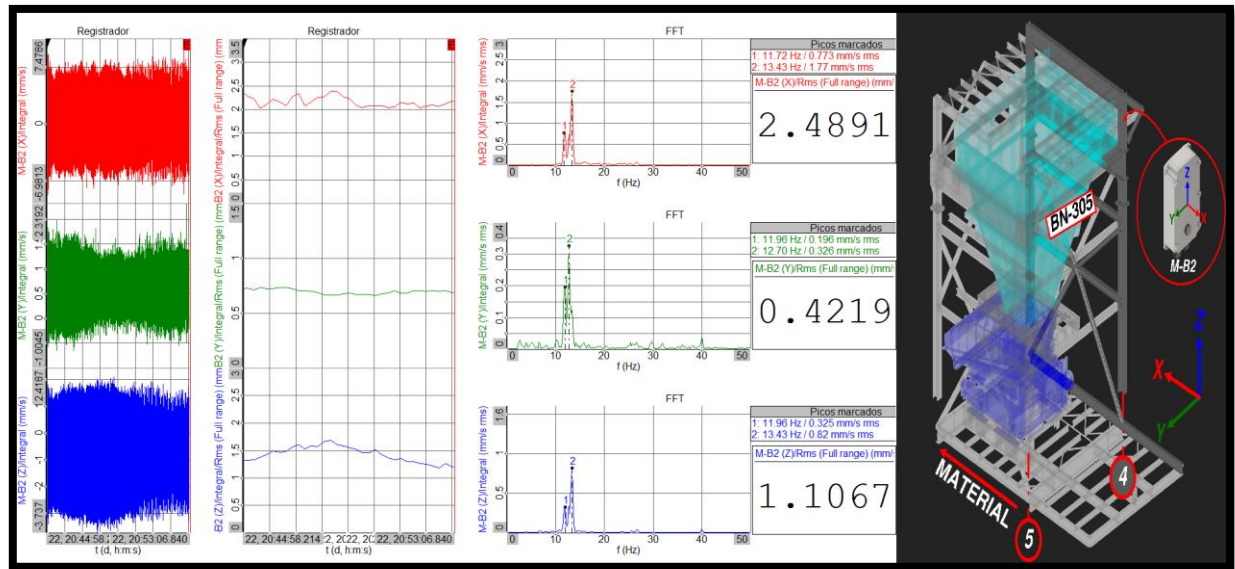
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones.
- Las gráficas de tendencia muestran estabilidad.
- La columna 2 se encuentra en buenas condiciones estructurales, sin indicios de comportamiento anómalo.

Columna 4

Figura 123

Información de sensores en columna 4



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-B2:

Tabla 38

Información del sensor M-B2

Mem's M-B2	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	2.4891	13.43 Hz	Operación normal
Y	0.4219	12.7 Hz	Operación normal
Z	1.1067	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

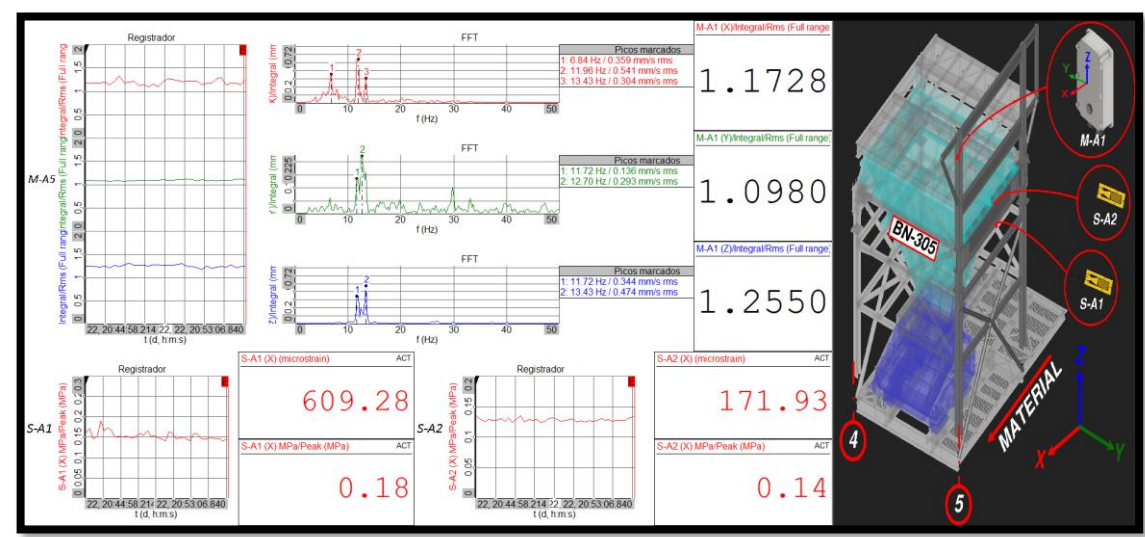
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación en las tres direcciones.
- Las gráficas de tendencia muestran estabilidad.

Columna 5

Figura 124

Información de sensores en columna 5



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-A1:

Tabla 39

Información del sensor M-A1

Mem's M-A1	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.1728	11.96 Hz	Operación normal
Y	1.0980	12.70 Hz	Operación normal
Z	1.2550	13.43 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-A1 y S-A2:

Tabla 40

Información de los sensores S-A1 y S-A2

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-A1	0.18	609.28
S-A2	0.14	171.93

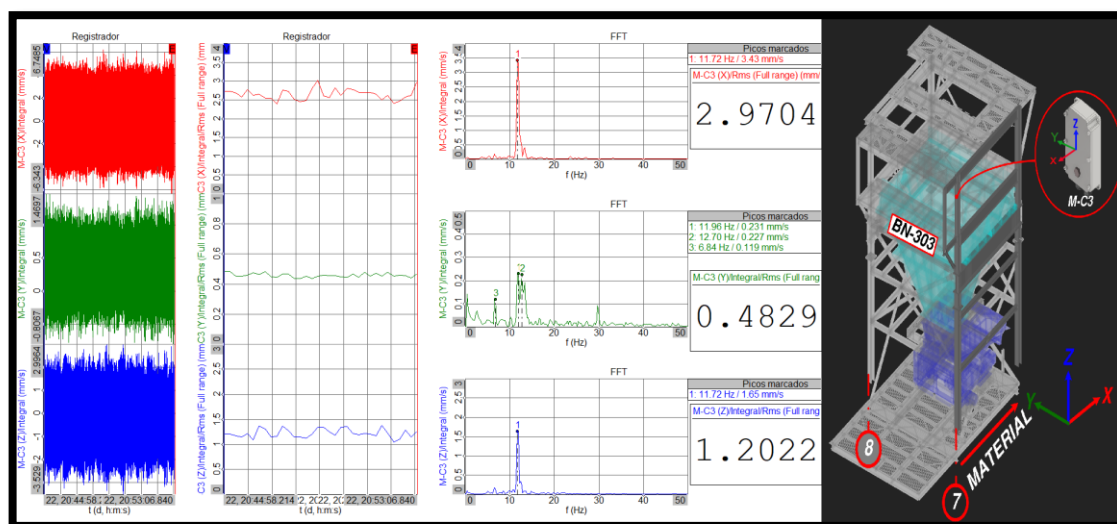
Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango normal de operación.
- Las medidas de microstrain registradas por los strain gages S-A1 y S-A2 son elevadas, posiblemente debido a una deformación localizada en la viga medida.
- El análisis FFT del sensor M-A1 en dirección “X” muestra un pico de frecuencia en 6.84 Hz, el cual puede ser causado por la excitación generada de una máquina continua. Este debe ser monitoreado periódicamente para evitar que se convierta en un problema.

Column 7**Figura 125**

Información de sensores en columna 7



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-C3:

Tabla 41

Información del sensor M-C3

Mem's M-C3	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	2.9704	11.72 Hz	Operación normal
Y	0.4829	11.96 Hz	Operación normal
Z	1.2022	11.72 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

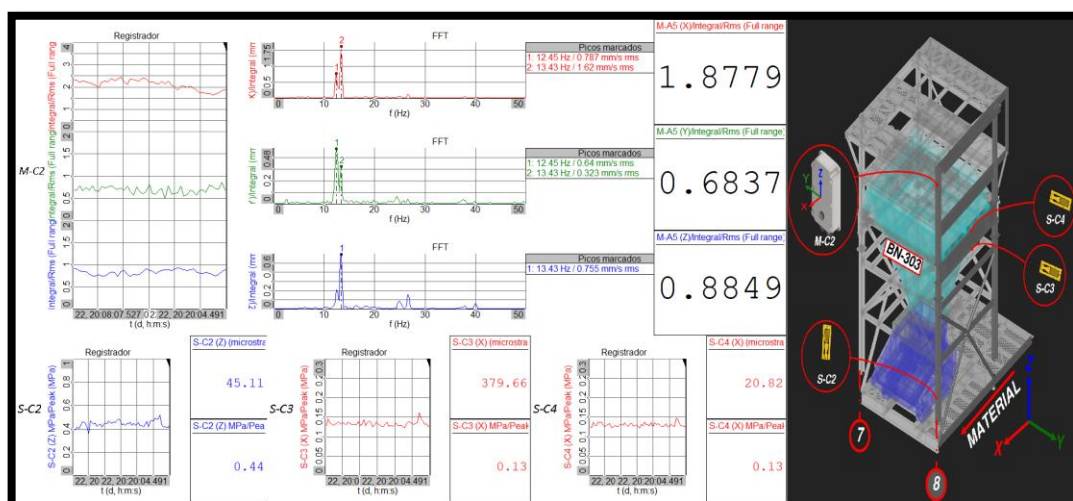
Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentra dentro del rango norma de operación en las tres direcciones.
- Al valor de vibración en la dirección “X” se debe realizar seguimiento, ya que se encuentra al límite del nivel de operación, por lo tanto, se recomienda realizar seguimiento. Si se presenta un aumento en la tendencia, podría representar un problema estructural a futuro.
- Las gráficas de tendencia se mantienen estables en general.

Columna 8

Figura 126

Información de sensores en columna 8



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor M-C2:

Tabla 42

Información del sensor M-C2

Mem's M-C2	Valor global (mm/s)	Frecuencia principal	Estado de funcionamiento
X	1.8779	11.72 Hz	Operación normal
Y	0.6837	11.96 Hz	Operación normal
Z	0.8849	11.72 Hz	Operación normal

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos por el sensor S-C2, S-C3 y S-C4:

Tabla 43

Información de los sensores S-C2, S-C3 y S-C4

	Valor Pico (Mpa)	Microstrain
S-C2	0.44	45.11
S-C3	0.13	379.66
S-C4	0.13	20.82

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- Los valores de vibración se encuentran dentro del rango de operación normal.
- Los esfuerzos medidos por los strain gages S-C2, S-C3 y S-C4 son bajos y no representan un riesgo para la estructura. Además, sus graficas de tendencia se mantienen estables, lo que indica un comportamiento estructural adecuado.

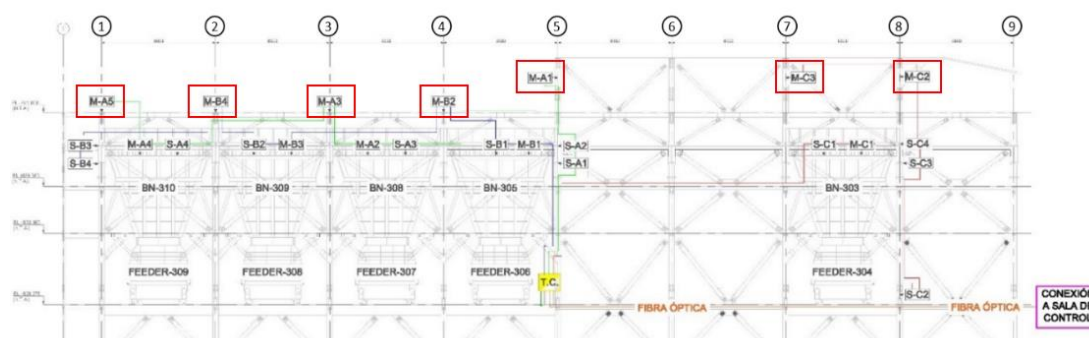
4.2.2. Análisis ODS

El análisis ODS se realiza para la estructura de zaranda, utilizando la data procesada obtenida de los sensores mem's que se encuentran en las columnas.

Los sensores utilizados fueron los mem's M-A5, M-B4, M-A3, M-B2, M-A1, M-C3 y M-C2.

Figura 127

Posición de sensores utilizados en ODS



Fuente: Elaboración propia.

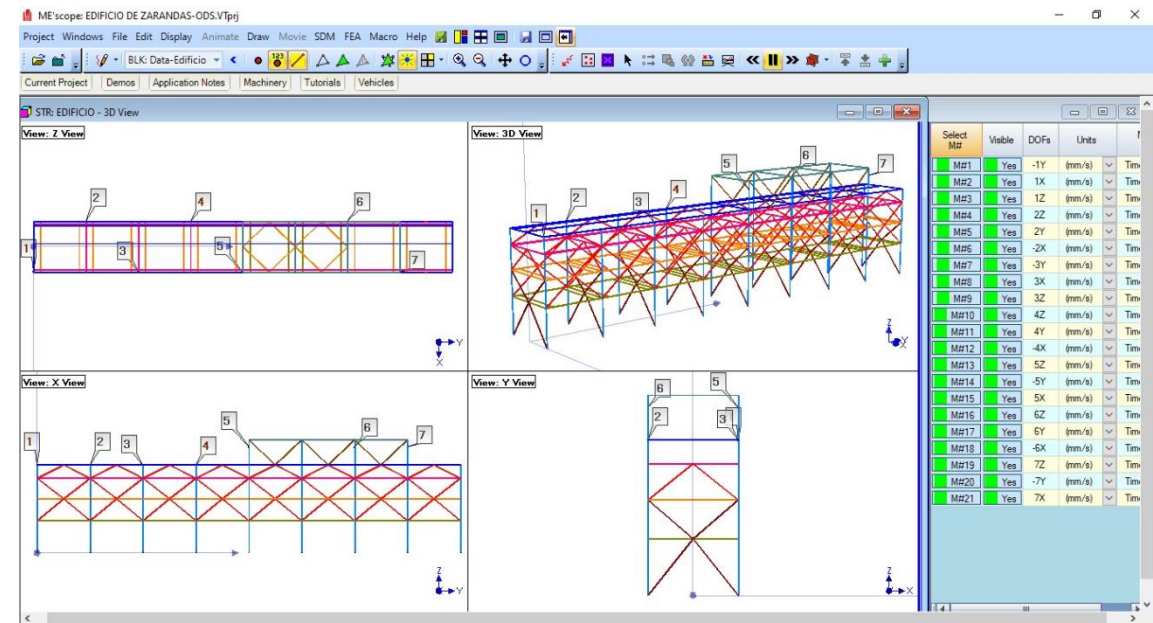
Para realizar el análisis ODS se usará el software ME'Scope y los datos exportados de los sensores mem's anteriormente mencionados, todos con la misma marca de tiempo para que se encuentren sincronizados y se pueda mostrar la forma de movimiento de la estructura.

Al visualizar la forma de movimiento de la estructura a distintas frecuencias, se busca encontrar algún movimiento o amplitud inusual que pueda estar ocurriendo en alguna viga. Con esta información, se podrá realizar un seguimiento a dicha parte de la estructura y programar su inspección.

En la Figura 128 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la realización del análisis ODS en la estructura de la zaranda. Esta es representada por barras que han sido dibujadas en el mismo programa ME'Scope, y los datos de vibraciones se asignan en las posiciones donde se encontraban los sensores. De esta manera, el software puede realizar la interpolación de los datos para cada punto de la estructura.

Figura 128

ME'Scope - Posicionamiento de señales

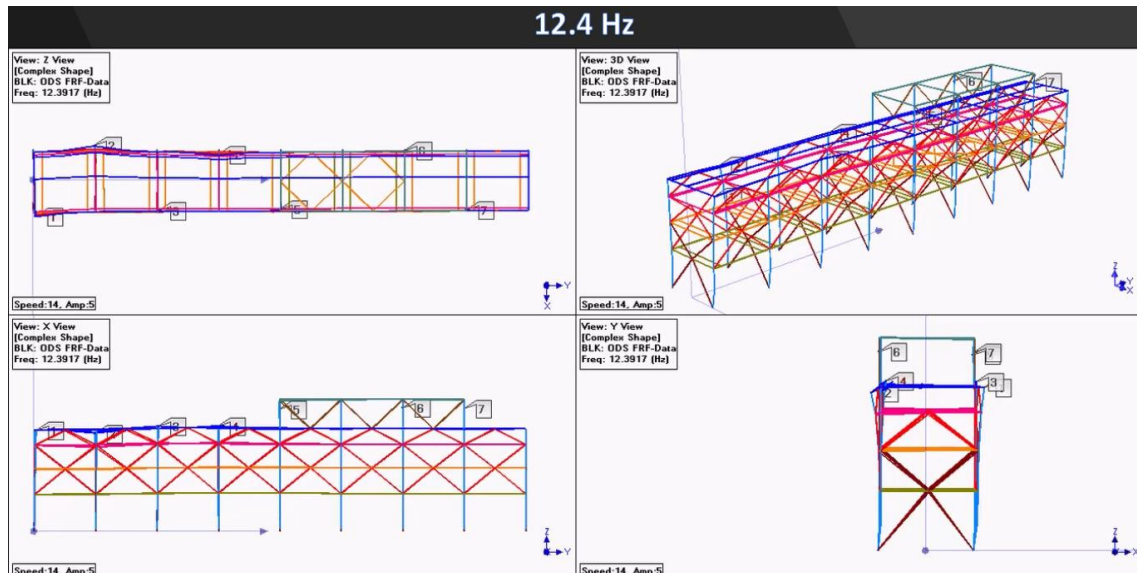


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 129, Figura 130 y Figura 131 son capturas de los videos obtenidos por el ODS.

Figura 129

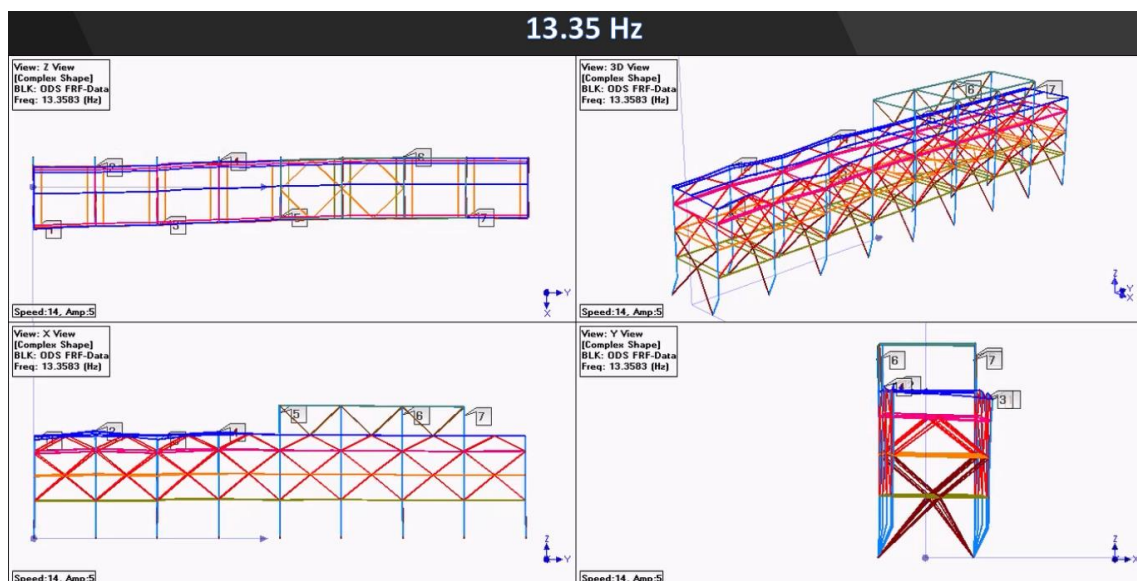
ODS - 12.4Hz



Fuente: Elaboración propia.

Figura 130

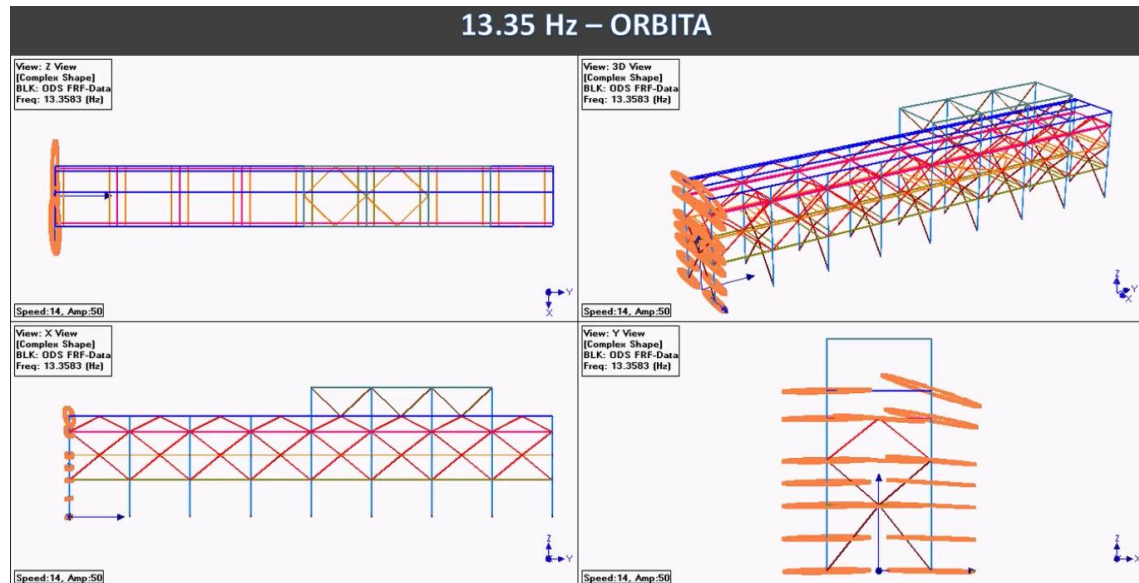
ODS - 13.35Hz



Fuente: Elaboración propia.

Figura 131

ODS - 13.35 Hz – Órbita



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis ODS, se identificaron las frecuencias de 12.4 Hz y 13.35 Hz que son las frecuencias de mayores amplitudes encontradas, al filtrar los datos en dichas frecuencias se muestra el modo de movimiento de la estructura. La visualización de los modos de vibración muestra que la estructura a la frecuencia de 13.35 Hz presenta un movimiento ondulante en el área de la estructura en donde se encuentra los mem's M-A5, M-B4, M-A3 y M-B2.

Si bien en el ODS el movimiento puede parecer dañino, no necesariamente es un problema debido a que la estructura es flexible es normal que tenga movimientos de esa naturaleza. En caso que la vibración aumente de tal manera que se vuelva peligroso para la salud de la estructura, el ODS permite localizar las áreas y direcciones en las que se produce el movimiento. Esta información resulta valiosa para determinar los puntos críticos y seleccionar la manera apropiada para reforzar la estructura, en caso sea necesario.

4.3. Validación de hipótesis.

Como se aprecia en la Figura 109, el sistema de monitoreo online permite visualizar los valores globales de vibración y esfuerzos. Esto es posible gracias al protocolo MQTT, el cual transmite datos de manera continua a la base de datos creada en influxDB, para luego ser descargada por el cliente que se conecta a la pantalla de monitoreo. De esta manera, la sala de monitoreo y los operarios encargados de monitorear la estructura de zarandas cuentan con un panel de visualización fácil de interpretar, que cuenta con los datos de todos los sensores instalados.

El protocolo SFTP para el envío de archivos de datos ha permitido almacenar correctamente dichos archivos en el servidor. Esto ha permitido descargar archivos de datos, los cuales fueron utilizados para realizar los análisis presentados anteriormente.

En el análisis de los datos se obtiene los valores de vibración y esfuerzos medidos por los sensores, los cuales, al ser contrastados con los valores de referencia asignados inicialmente para determinar su condición, permiten concluir que la estructura se encuentra dentro de los rangos normales de operación en cuanto a vibración. Además, se pueden visualizar la forma de onda y espectro de vibración, lo cual proporciona información adicional sobre el comportamiento vibratorio. El registro de las frecuencias encontradas también resulta útil para detectar posibles daños en la estructura, ya que dichas frecuencias podrían variar en su valor y amplitud si existen daños que varíen la rigidez de la estructura.

El análisis de ODS permite apreciar la forma de movimiento de la estructura a las frecuencias de mayor amplitud encontradas. Este análisis ha permitido apreciar que una parte de la estructura presenta una ligera tendencia a elevarse, lo cual no representa un problema inmediato, pero que, con el paso del tiempo, podría agravarse y causar problemas en el proceso operativo o la seguridad del tránsito de los operarios que se desplacen por la estructura. Además, con la visualización del movimiento de la estructuras a frecuencias elevadas, es posible identificar las zonas con mayor tendencia a deformarse.

Esta información es útil para localizar las zonas que podrían requerir reforzo estructural en caso de ser necesario.

Con los datos obtenidos del sistema de monitoreo, se concluye que se ha realizado un estudio efectivo del estado de salud estructural. Este estudio demuestra que la estructura se encuentra en buenas condiciones para su funcionamiento, además proporcionar información valiosa para realizar seguimiento a posibles problemas futuros. Por lo tanto, la información de datos globales enviados mediante el protocolo MQTT, visualizados en la pantalla de monitoreo, como los archivos transmitidos por SFTP, han resultado útiles para el análisis y seguimiento de la salud estructural de la estructura de zaranda tipo banana.

CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo online funciona correctamente. No presenta problemas de desconexión en los sensores y el flujo de datos es fluido, sin evidenciar sobrecarga por la cantidad de datos que se escriben en el servidor o se leen desde el visualizador.
- Se ha desarrollado un programa de visualización de los datos de monitoreo que es fácil de utilizar, intuitivo en el desplazamiento por las zonas estudiadas y que cuenta con indicadores de valores límite para facilitar el reconocimiento de alertas.
- El sistema de monitoreo ha proporcionado satisfactoriamente los archivos de datos, los cuales han sido utilizados posteriormente para el estudio de la estructura.
- Los planos de distribución de sensores, el diagrama de alimentación y el diagrama de conexión de equipos facilitaron el desarrollo e instalación del sistema de monitoreo.
- El estudio de los archivos de datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo mostró que la estructura se encuentra funcionando correctamente, sin presentar puntos fuera de la zona de operación normal. Sin embargo, también se detectaron áreas en las cuales la vibración se encuentra cerca del límite de advertencia. Gracias a esta información, es posible realizar un seguimiento a dichas áreas y planificar una visita técnica para verificar la condición de la estructura y programar su mantenimiento, en caso de ser necesario.
- El análisis ODS realizado muestra las formas de movimiento de la estructura, proporcionando información adicional para detectar desplazamientos anormales que puedan ocasionar daño en la misma.
- Las órbitas obtenidas en el análisis ODS muestran un movimiento vertical en el lado superior derecho de la estructura, lo cual podría deberse a que la estructura presenta baja rigidez en dicha zona. Por ello, se recomienda inspeccionar y realizar

un seguimiento a las áreas adyacentes, con el fin de reparar y evitar que el problema se agrave o se propague.

RECOMENDACIONES

- Para lugares donde no se disponga de conexión a internet mediante cable Ethernet o fibra óptica, se recomienda utilizar un router Wi-Fi con una tarjeta SIM que proporcione acceso a internet al sistema de monitoreo.
- En caso de que se requiera aumentar la cantidad de puntos monitoreados, se recomienda utilizar los puertos disponibles en el EtherCAT CU1128, de modo que se generen nuevas líneas de sensores (Línea D, Línea E, etc.) sin afectar las tres principales líneas ya instaladas.
- Se recomienda realizar un mantenimiento trimestral al servidor para evitar que la sobrecarga de información afecte su funcionamiento.
- El análisis de las señales obtenidas por el sistema de monitoreo debe ser realizado por una persona calificada.
- Se sugiere incorporar técnicas de análisis estadísticos y algoritmos de machine learning como mejora, con el fin de identificar patrones ocultos en los datos y anticipar posibles eventos que puedan comprometer la integridad estructural.

REFERENCIAS

- Alegsa, L. (2023, Agosto). Definición de BAT (extensión y archivo batch) . ALEGSA.
<https://www.alegsa.com.ar/Dic/bat.php>
- A-MAQ S.A. (2005). Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico. A-MAQ.
https://mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf
- ASTM. (2014, Diciembre). ATM A490-14^a Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength. ASTM International.
- ASTM. (2019, Julio). ASTM A36/A36M-19 Standard Specification for Carbon Structural Steel. ASTM International.
- Ballesteros, F. (2011, Agosto). La estrategia en el mantenimiento industrial. Preditec/IRM.
https://www.preditec.com/extranet/publicaciones/La_estrategia_predictiva_en_el_mantenimiento_industrial.pdf
- BECKHOFF New Automation Technology. (2022, Julio). CU1128 Infrastructure, 8 – port junction, EtherCAT, 100 Mbit/s, 24 V DC, RJ45. BECKHOFF. [CU1128 | Infrastructure, 8-port junction, EtherCAT, 100 Mbit/s, 24 V DC, RJ45](#)
- Callister, W, & Rethwisch, D. (2016). Ciencia e Ingeniería de materiales. Editorial Reverté.
<https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf>
- Dewesoft. (s.f.). IOLITE^d accessories – IOLITE^d-POWER-INJECTOR. Dewesoft.
[dewesoft-iolite-one-accessories-manual-en.pdf](#)
- Dewesoft. (s.f.). IOLITEⁱ - 1xSTG. Dewesoft. [IOLITEⁱ-1xSTG v2.4 2024-06-13.docx](#)
- Dewesoft. (s.f.). IOLITE 3xMEMS Acelerómetros e inclinómetros mem's triaxiales de bajo ruido. Dewesoft. <https://dewesoft.com/es/productos/iolitei-3xmems>

- Erbessd, T. (2013). Evaluación de las señales de vídeo para la detección de fallos en rodamientos y acoplamientos empleando la técnica espejo. ERBESSD INSTRUMENTS. [Resonancia y Frecuencia Natural | Vibración – ERBESSD INSTRUMENTS](#)
- Escobar G., E, Villazó, T. (2018). Sistema de monitoreo energético y control domótico basado en tecnología “Internet de las cosas”[Artículo científico, Universidad Privada Boliviana]. Revista Investigación & Desarrollo. <https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1>
- Eshleman, R. (2022). CAT II: Basic machinery vibrations: si units. Vibration Institute.
- EtherCAT. (2018, Mayo). EtherCAT - el bus de campo Ethernet. EtherCAT Technology Group. [EtherCAT Technology Group | EtherCAT](#)
- Fernandez, A. (2024). Vibración en maquinaria industrial. Power-MI. [Vibración en maquinaria industrial | Power-MI](#)
- File.extension. (2022, Junio). Extensión de archivo VBS. File.extension. <https://www.file-extension.info/es/format/vbs>
- FS. (2021, Agosto). Conversor de medios de fibra: ¿Qué es y cómo funciona?. FS. [Conversor de medios de fibra ¿Qué es y cómo funciona](#)
- García Palencia, O. (2006). El mantenimiento general. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1297>
- GO. (s.f.). Build simple, secure, scalable systems with Go. GO. <https://go.dev/>
- HiveMQ. (s.f.). MQTTFAQs All of your MQTT Protocol Questions Answered. HiveMQ. <https://www.hivemq.com/mqtt/mqtt-faqs/#basic-faqs-on-mqt>
- Hottinger Bruel & kj AER. (s.f.). LB11 y TB21: galgas extensométricas para mediciones en tornillos y pernos. HBK. [Galgas ext. LB11/TB21 para medida en tornillos y pernos | HBM](#)

HPE aruba networking. (2025). ¿Qué es la topología de red?.Hewlett Packard Enterprise.

<https://www.arubanetworks.com/es/faq/que-es-la-topologia-de-red/>

IONOS Digital Guide. (2023, Marzo). SFTP: la vía segura para la transferencia de datos.

IONOS. [SFTP \(SSH File Transfer Protocol\): transferencia de datos segura - IONOS MX](#)

Marulanda A., J, Marulanda C., J y Thomson, P. (2011). Monitoreo de salud estructural.

Ingenieria y Competitividad, 2(2), 40–46 <https://hdl.handle.net/10893/1511>

Maciso W., M, Oliva C., J. (2023). Diseño de un sistema de monitoreo sísmico para el apagado automático de procesos críticos en una fábrica de pinturas. [Tesis, Universidad peruana de ciencias aplicadas]. Repositorio académico UPC.

<https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/670373>

Medina L., O. (2020). Implementación de un sistema de monitoreo remoto, en el tanque de almacenamiento y unidad de bombeo de crudi, de los pozos del Bloque Gustavo Galindo Velasco Pacifpetrol. [Tesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena.

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5377>

Merino, M. (2021, Septiembre). Qué es un archivo BAT y cómo y para qué puedes crear uno tú mismo en pocos pasos. Genbeta. [Qué es un archivo BAT y cómo \(y para qué\) puedes crear uno tú mismo en pocos pasos](#)

Montaño B., M, Gonzáles E., J, Jiménez S., Ó, Mingo M., L, Carrión A., C. (2023). Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para cultivos hidropónicos. [Artículo Científico, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25203>

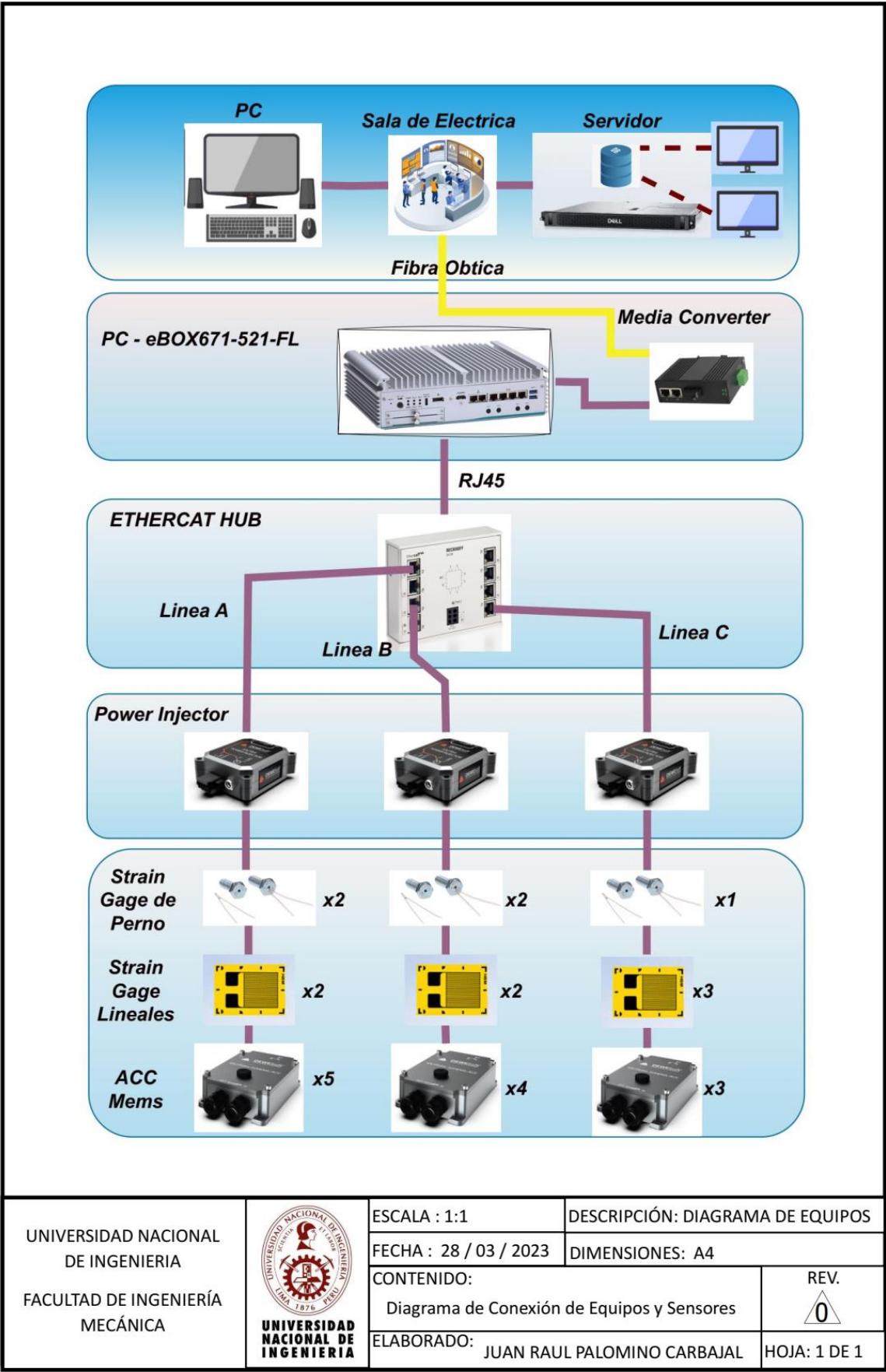
MQTT. (2024). MQTT: The Standard for IoT Messaging. MQTT. <https://mqtt.org/>

- NTI Audio. (2017). Transformación rápida de Fourier FFT – Conceptos básicos. NTI Audio.
<https://www.nti-audio.com/es/servicio/conocimientos/transformacion-rapida-de-fourier-fft>
- OASIS. (2014, Octubre). MQTT Version 3.1.1. OASIS. [MQTT Version 3.1.1](#)
- Pavel, S, Jiri, C, Vaclav, P, & Renata, W. (2019). PROCESSING OF OPERATING DEFLECTION SHAPES.[Trabajo de investigación, VŠB - Technical University of Ostrava]. MM SCIENCE JOURNAL. [mmscience 2019-03 processing-of-operating-deflection-shapes \(2\).pdf](#)
- Pérez, A, Nuñez, G, Rodríguez, A, Salazar, R, Zilio, I. (2010, Julio). Topologías de Red WSN. Wireless Sensor Network.
<https://wirelessensornetworkproyecto.blogspot.com/>
- Sosa, J.(2013). Glagas Extensiométricas. WAYBACK machine.
https://web.archive.org/web/20130612155741/http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gages_1.pdf
- Torres, G. (2022, julio). *Análisis de Vibraciones*. Urany.
<https://pe.urany.net/blog/an%C3%A1lisis-de-vibraciones>
- Vargez, C. (2021, junio). Principios Básicos de Análisis de Vibraciones & Monitoreo continuo. ERBESSD INSTRUMENTS. [Artículos de Análisis de Vibración y Monitoreo Continuo - ERBESSD](#)
- Vavra, B. (2018, marzo). 2018 Maintenance Survey: Playing offense and defense. Plant Engineering. <https://www.plantengineering.com/articles/2018-maintenance-survey-playing-offense-and-defense/>
- Zwick Roell. (s.f.). Límite de fluencia Re y límite elástico Rp 0.2 . Zwick Roell.
<https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/limite-de-fluencia/>

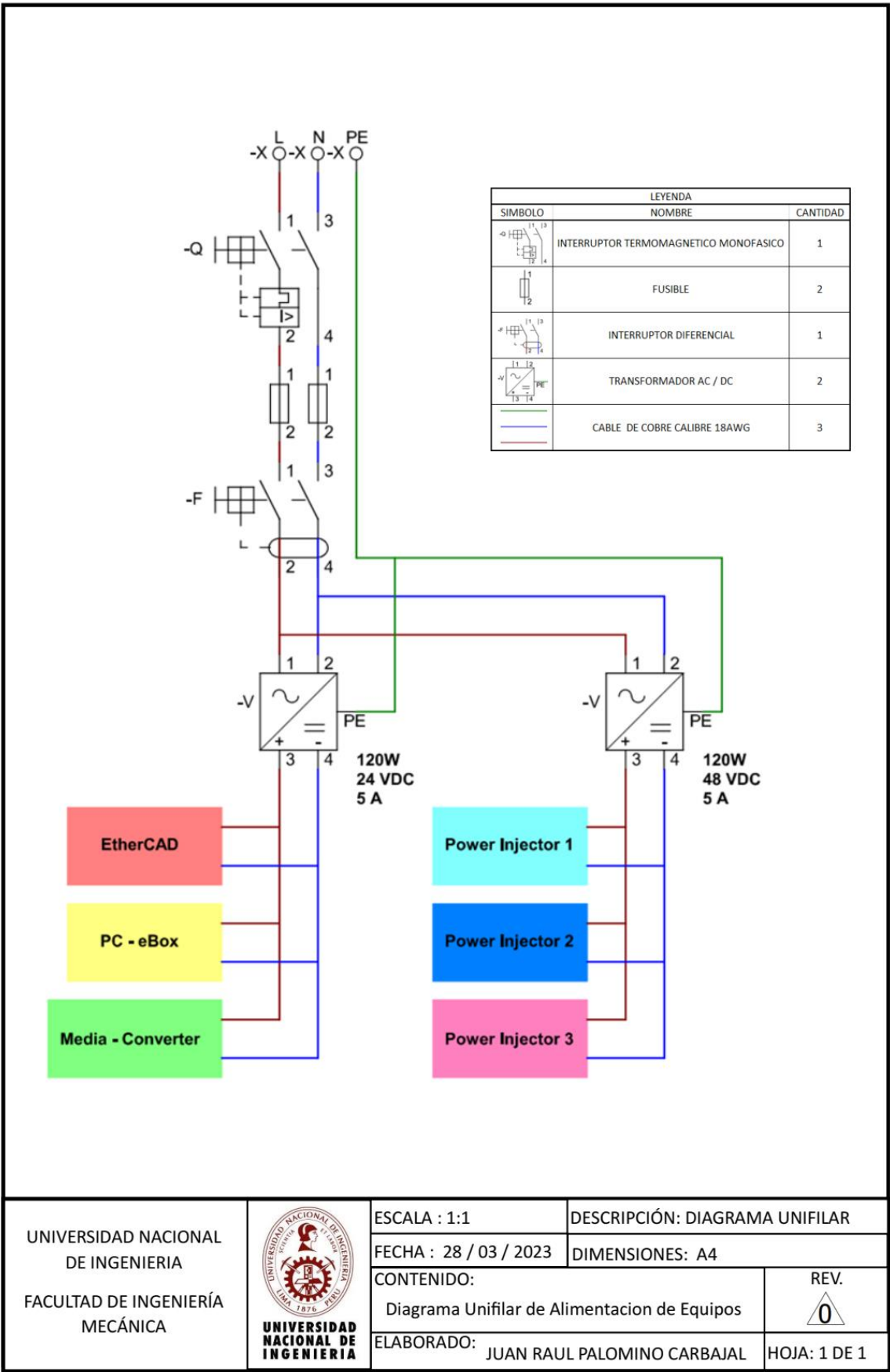
ANEXOS

Anexo A : Diagrama de conexión de equipos	1
Anexo B : Diagrama unifilar de alimentación	2
Anexo C : Plano de tablero	3
Anexo D : Plano de ubicación de sensores en estructura	4

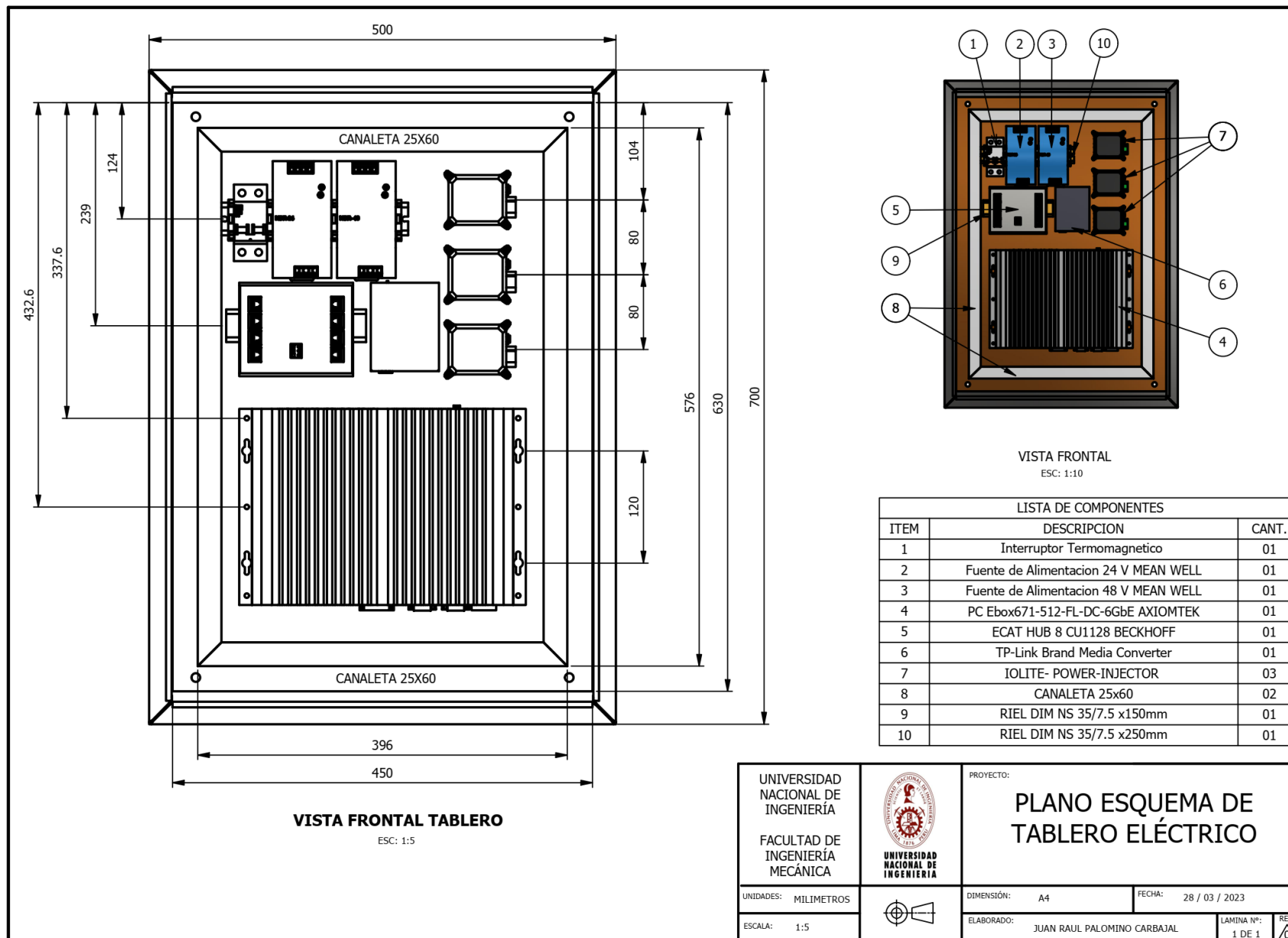
ANEXO A: Diagrama de conexión de equipos



ANEXO B: Diagrama unifilar de alimentación



Anexo C: Plano esquema de tablero eléctrico



Anexo D: Plano de ubicación de sensores

