



Integración e implementación de la plataforma “IMT MONITOREM” en el puente Mezcala

Jorge Alberto Hernández Figueroa
Héctor Miguel Gasca Zamora
Luis Álvaro Martínez Trujano
Francisco Javier Carrión Viramontes
Juan Antonio Quintana Rodríguez

**Publicación Técnica No. 520
Sanfandila, Qro, 2018**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Integración e implementación de la plataforma
“IMT MONITOREM” en el puente Mezcala**

Publicación Técnica No. 520
Sanfandila, Qro, 2018

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por Ing. Jorge Alberto Hernández Figueroa, M. en C. Luis Álvaro Martínez Trujano, Lic. Héctor Miguel Gasca Zamora, el Dr. Juan Antonio Quintana Rodríguez y el Dr. Francisco Javier Carrión Viramontes.

Se reconoce y agradece la participación del Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por la revisión y facilidades para la realización del presente trabajo.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna EI 06/17 Integración e implementación de la plataforma "IMT MONITOREM" en el puente Mezcala.

Contenido

Contenido	ii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Sinopsis	ix
Abstract	xi
Resumen ejecutivo	xiii
Introducción	1
1 Monitoreo de Puentes	5
1.1 CMPEI	7
1.2 Monitoreo caso Puente Río Papaloapan	7
2 Sistema de Instrumentación Mezcala	11
2.1 Sistema de adquisición de datos	12
2.2 Sistema de energización	15
2.3 Sistema de comunicaciones	17
3 Plataforma de Desarrollo	19
3.1 Instrumentación virtual	19
3.2 LabVIEW	21
3.3 Bases de datos (PostgreSQL)	22
3.4 Visualización WEB (JavaScript, HTML y CSS)	23
4 IMT Monitorem	25
5 Sistema Inteligente de Monitoreo (SIM)	29
5.1 Primer nivel de alarma	29

5.2	Segundo nivel de alarma.....	32
6	Metodología	35
7	Integración IMT SIMonitorem	37
7.1	Especificación de requisitos.	37
7.1.1	Requisitos funcionales IMT SIMonitorem para el puente Mezcala. ...	38
7.2	Diseño	41
7.3	Diseño de Base de datos	43
7.3.1	Selección de software.....	43
7.3.2	Estructuración de la base de datos.....	45
7.3.3	Tablas de la Base de Datos.....	46
7.4	Visualización de datos – Pagina WEB	47
7.5	Web Services.	49
8	Plataforma IMT SIMonitorem Puento Mezcala	51
9	Conclusiones.....	55
	Anexo 1. Especificación de requisitos de software.....	59
1	Introducción.....	61
1.1	Propósito	61
1.2	Alcance	61
1.3	Personal Involucrado.....	61
1.4	Definiciones.....	63
2	Descripción general	65
2.1	Perspectiva del producto.....	65
2.2	Funcionalidad del producto	65
2.3	Características de los usuarios	67
2.4	Restricciones.....	67
2.5	Suposiciones y dependencias.....	67

3	Requisitos específicos.....	69
3.1	Requisitos comunes de las interfaces.....	69
3.1.1	Interfaces de usuario	69
3.1.2	Interfaces de hardware	69
3.1.3	Interfaces de software	70
3.1.4	Interfaces de comunicación	70
3.2	Requisitos funcionales	71
3.2.1	Requisito funcional 1	71
3.2.2	Requisito funcional 2	71
3.2.3	Requisito funcional 3	72
3.2.4	Requisito funcional 4	72
3.2.5	Requisito funcional 5	73
3.2.6	Requisito funcional 6	74
3.2.7	Requisito funcional 7	74
3.2.8	Requisito funcional 8	75
3.2.9	Requisito funcional 9	75
3.2.10	Requerimiento funcional 10.....	76
3.3	Requisitos no funcionales	76
3.3.1	Requisitos de rendimiento RNF01	76
3.3.2	Seguridad RNF02	76
3.3.3	Fiabilidad RNF03.....	77
3.3.4	Disponibilidad RNF04	77
3.3.5	Mantenibilidad RNF05	77
3.3.6	Portabilidad RNF06	77
	Anexo 2. Tablas de Bases de Datos	79

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica por equipo	16
Tabla 7.1 Requisitos funcionales IMT SIMonitorem Mezcala	38

Índice de figuras

Figura 1. Plataforma para la adquisición y visualización de señales para el monitoreo remoto de puentes, IMT Monitorem	2
Figura 2. Protocolo de actuación para alarmas de primer nivel	3
Figura 1.1. Colapso de puente vial I-35W en Minneapolis, USA.	6
Figura 1.2. Puente Río Papaloapan	8
Figura 1.3. Esquemático de la instrumentación en el puente Río Papaloapan	9
Figura 1.4. Gabinete de control del puente Río Papaloapan	10
Figura 2.1. Puente Mezcala	11
Figura 2.2. Módulo de sensores equipos de adquisición y pre procesamiento de datos	13
Figura 2.3. Paneles solares del puente Mezcala	17
Figura 2.4. Antena satelital puente Mezcala	17
Figura 3.1. Esquema de funcionamiento de un instrumento virtual	20
Figura 3.2. LabVIEW (<i>Laboratory Virtual Engineering Workbench</i>)	21
Figura 3.3. MATLAB (<i>MAtriz LABoratory</i>)	21
Figura 3.4. Plataformas SCADA (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>)	21
Figura 3.5 Características de LabVIEW	22
Figura 3.6 Lenguajes de “Backend” y “Frontend”	24

Figura 4.1. Conexiones de hardware para el monitoreo estructural	25
Figura 4.2. IMTOPTICS - Pantalla de Adquisición	26
Figura 4.3. Esquema general del diseño del software	26
Figura 4.4. Pestaña: Sensores	27
Figura 4.5. Pestaña: Gráficos	28
Figura 4.6. Pestaña: Almacenamiento	28
Figura 5.1. Diagrama de flujo general para el primer nivel de alarma	30
Figura 5.3 Diagrama de flujo general para el segundo nivel de alarma	34
Figura 6.1. Metodología de diseño e integración del software.	35
Figura 7.1. Diseño esquemático de IMT SIMonitorem en el puente Mezcala	41
Figura 7.2. Diagrama Entidad Relación de la base de datos	45
Figura 7.3. Mapa del sitio de IMT SIMonitorem en el puente Mezcala	47
Figura 7.4. Diagrama de instrumentación de zonas 1A, 2A y 3A	48
Figura 7.5. Diagrama de instrumentación de las zonas 1B, 2B y 3B	48
Figura 7.6. Diagrama de instrumentación de las zona 4	48
Figura 7.7. Diseño conceptual de las páginas WEB del sitio Mezcala. Izquierda Pagina de bienvenida y zonas, derecha página de visualización de datos en tiempo real	49
Figura 7.9. Graficas de las librerías Google Charts para el sitio web del puente Mezcala	50
Figura 8.1. IMT SIMonitorem del puente Mezcala	51

Figura 8.2. Página de bienvenida del sitio web del puente Mezcala	52
Figura 8.3. Página de índice de zonas según el diagrama de instrumentación	52
Figura 8.4. Página de visualización de señales de las zonas 1A y 2A	53
Figura 8.5. Página de visualización de señales de las zonas 3A y 1B	53
Figura 8.6. Página de visualización de señales de las zonas 2B y 3B	54
Figura 8.7. Página de visualización de señales de la zona 4	54

Sinopsis

El Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes del Instituto Mexicano del Transporte se ha preocupado en el desarrollo de procedimientos y herramientas que permitan conocer la condición estructural de los puentes más importantes del país. Dos de esas herramientas son: el software de adquisición y manejo de datos de sistemas de instrumentación de sensores FBG llamado "IMT Monitorem"; y la plataforma de evaluación y seguimiento del comportamiento estructural llamada "SIM".

Uno de los puentes importantes del país es el puente Mezcala en el estado de Guerrero. El puente cuenta con un sistema de instrumentación de 122 sensores FBG. Con el fin de tener una plataforma que dé seguimiento a la condición estructural del puente y, utilizando las herramientas desarrolladas, nace la integración e implementación de IMT SIMonitorem.

El trabajo presente tiene como finalidad crear una plataforma a la medida para conocer y dar seguimiento a la integridad estructural del puente Mezcala, utilizando el sistema de instrumentación existente. IMT SIMonitorem es capaz de detectar eventos que provocan una respuesta a las condiciones normales de operación como picos de sobrecarga, detección de deformaciones semipermanentes y cálculo de tensión en tirantes además de gestionar la información de los sensores.

Abstract

The Smart Bridges and Structures Monitoring Center (CMPEI acronym in Spanish) of the IMT, has been concerned with the development of procedures and tools that allow to know the structural condition of the most important bridges of our country. Two of those important tools are: the acquisition and data management software of FBG sensor instrumentation systems called "IMT Monitoreo"; and the platform for evaluating and monitoring the structural behavior called "SIM".

One of the most important bridges in the country is the Mezcala bridge, located in the state of Guerrero. The bridge has an instrumentation system of 122 FBG sensors. Starting from the need to have a platform that gives continuity to the structural condition of the bridge and using the tools developed, the integration and implementation of IMT SIMonitoreo was born.

The purpose of the present work is to create a software tailored to meet and monitor the structural integrity of the Mezcala bridge, using the existing instrumentation system. IMT SIMonitoreo is capable of detecting events that provoke a response to normal operating conditions such as overload peaks, detection of semi-permanent deformations and calculation of strain on straps as well as managing the information of the sensors.

Resumen ejecutivo

La importancia y el desarrollo de la infraestructura vial en el país, tales como carreteras, puentes, puertos, etc., han estado en constante desarrollo y crecimiento, debido a la creciente necesidad de movilizar mercancías y personas y promover el desarrollo del país. Por tal motivo el CMPEI (Centro de monitoreo de puentes y estructuras inteligentes) del Instituto Mexicano del Transporte ha puesto especial atención en el desarrollo de procedimientos y herramientas que permitan conocer la condición estructural para preservar la infraestructura vial.

Cabe mencionar que cualquier estructura sufre un deterioro natural como son: los fenómenos de fatiga, corrosión, agrietamiento, entre otros. Aunado a esto, la creciente demanda por tener mayor capacidad de carga en la infraestructura, está comenzando a rebasar los criterios originales de diseño. Por lo cual, se vuelve prioritario evaluar la integridad, detectar daño oportuno y establecer la vida útil mediante la instrumentación y monitoreo estructural permanente.

El monitoreo estructural tiene como objetivo principal verificar el comportamiento *in-situ* de una estructura de manera precisa y eficiente para evaluar su desempeño bajo distintas cargas de servicio, detectar deterioro y determinar su condición estructural. Los sistemas de monitoreo estructural deben ser capaces de proporcionar información confiable relacionada con la seguridad e integridad de una estructura.

El éxito del monitoreo radica en el análisis de la información, a través de un sistema automático que procesa los datos de los sensores, aplica las metodologías desarrolladas y genera esquemas de actuación para conservar la integridad estructural y garantizar la seguridad de los usuarios.

En el IMT se han desarrollado protocolos y herramientas de software como son: la “Plataforma para el análisis y visualización de señales para el monitoreo remoto de puentes [1] (IMT Monitorem)” y el “Sistema Inteligente y protocolos de actuación para el monitoreo remoto de puentes [2] (SIM)”, que juntos permiten el desarrollo de aplicaciones para automatizar y acelerar los análisis de datos.

Una de las estructuras más importantes del país es el puente atirantado Mezcala, ubicado en el estado de Guerrero, considerado un puente especial debido a la importancia logística en el país. El puente cuenta con un sistema de instrumentación de 122 sensores de fibra óptica.

El presente trabajo tiene como finalidad crear un software a la medida a partir de las plataformas IMT Monitorem y SIM para conocer y dar seguimiento a la integridad estructural del puente Mezcala utilizando el sistema de instrumentación existente.

Introducción

Con el crecimiento demográfico actual, incrementan las necesidades de transporte. En México, el desarrollo tecnológico ha propiciado la aparición de vehículos de mayor peso y dimensiones, lo cual, aunado a un notable incremento del parque vehicular, lleva a la infraestructura carretera a altas demandas tanto de flujo como de peso, lo que deriva en exigencias mayores a los sistemas estructurales (pavimentos, puentes, etc.) que componen las redes carreteras.

Ante este escenario y dada la significativa inversión inicial en la ejecución de estos proyectos de infraestructura, resulta fundamental implementar estrategias orientadas a la generación de programas de mantenimiento preventivo que lleven a la adecuada conservación y extensión de la vida útil de esta infraestructura.

En México, la conservación de la infraestructura se ha convertido en un plan estratégico, en el cual la aplicación eficiente de los recursos financieros es un punto primordial, por lo que el Instituto Mexicano del Transporte propuso a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la creación del Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), el cual está orientado a la realización de monitoreo estructural en puentes y estructuras en general.

El IMT, a través del CMPEI, se ha preocupado por establecer metodologías para evaluar la integridad, detectar daño oportuno y establecer la vida útil de los puentes más importantes en el país mediante la instrumentación y monitoreo permanente de parámetros estructurales críticos en la infraestructura.

Como parte de esta estrategia, a través del CMPEI, el IMT ha llevado a cabo la instrumentación de puentes especiales, como es el Puente Mezcala que se ubica en el municipio de Mártir de Cuilapan Guerrero, cruza el río Balsas y está situado en el kilómetro 221 de la Autopista del Sol (95D), el cual comunica a la ciudad de Cuernavaca Morelos con la ciudad de Acapulco Guerrero. Es uno de los puentes atirantados de la red federal carretera, contribuye al desarrollo comercial de la zona del pacífico, se encuentra ubicado en una zona sísmica tipo D, considerada como severa de acuerdo con los datos del INEGI (Marco Geoestadístico Nacional 2005) [3]. Además, se ubica en una región que presenta inestabilidad en las laderas. Todas estas condiciones hacen importante la necesidad del monitoreo permanente continuo y de largo plazo de la estructura, por lo cual se propuso un sistema de instrumentación basado en fibra óptica con sensores de deformación, aceleración, inclinación y temperatura, entre otros.

El monitoreo de este tipo de estructuras importantes con sistemas de instrumentación llevó a la necesidad de desarrollar un software para la integración de sistemas que facilite el acoplamiento de los diversos conjuntos de equipos y sus respuestas, como son almacenamiento de señales, gestión de alarmas, generación de reportes, entre otras características.

En el CMPEI se ha adoptado una estrategia de monitoreo la cual, de manera general, se engloban en las siguientes etapas: instrumentación, análisis y visualización de señales, sistemas inteligentes de procesamiento de datos, almacenamiento de datos, protocolos de actuación, alarmas y publicación de resultados. Dichas etapas han desarrollado diferentes trabajos dentro del Instituto Mexicano de Transporte, como son: la “Plataforma para el análisis y visualización de señales para el monitoreo remoto de puentes [4]” en el que se desarrolló un software que es capaz de configurar, adquirir y almacenar señales de un conjunto de sensores de fibra óptica con tecnología FBG para conocer las diferentes variables estructurales que conforman un sistema de monitoreo permanente (Figura 1).

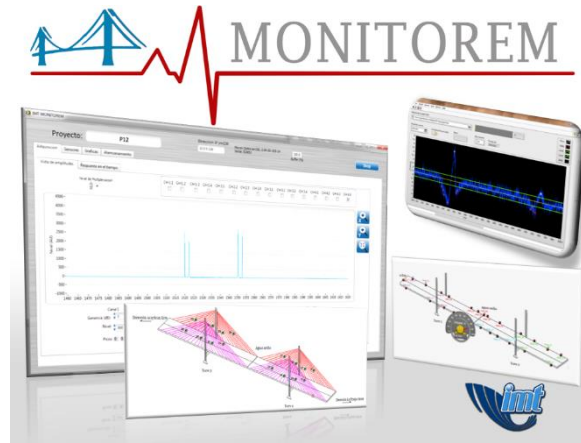


Figura 1. Plataforma para la adquisición y visualización de señales para el monitoreo remoto de puentes, IMT Monitorem

Aunado a esta plataforma se desarrolló una investigación para establecer una metodología para generar protocolos de actuación, como el de la Figura 2, ante eventos o tendencias inusuales que se manifiesten en un comportamiento estructural atípico o degeneren la condición estructural en los puentes monitoreados por el CMPEI (“Sistema Inteligente y protocolos de actuación para el monitoreo remoto de puentes [5]”). Estos protocolos hicieron necesario la generación de herramientas de software que permiten evaluar el comportamiento estructural y dar seguimiento.

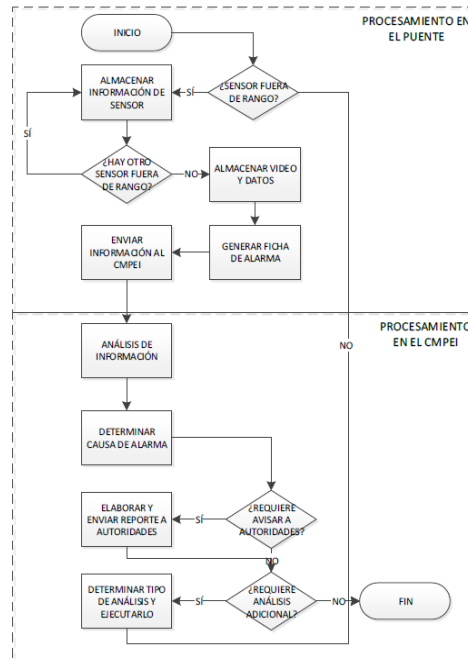


Figura 2. Protocolo de actuación para alarmas de primer nivel

Juntando estas herramientas de software en una sola plataforma permitirá acelerar y automatizar el análisis y evaluación en tiempo real de los datos adquiridos por el sistema de instrumentación que cuenta el puente Mezcala.

1 Monitoreo de Puentes

El Monitoreo de la integridad Estructural o SHM (*Structural Health Monitoring*, por sus siglas en inglés) puede definirse como “el proceso en el cual las estrategias de detección de daños son implementadas en las infraestructuras aero-espaciales, mecánicas y civiles” [Chang et al., 2013].

Desde los años sesenta del siglo pasado ya se aplicaban métodos de pruebas de vibración para estudiar el comportamiento dinámico de las estructuras con especial énfasis en los edificios. En estos estudios de tipo académico se buscaba obtener los períodos naturales de oscilación y la razón de amortiguamiento. Sin embargo, el tema propiamente de monitoreo de la integridad del infraestructural civil no tomó fuerza sino hasta los comienzos de los 90's debido a varias razones:

- La necesidad de determinar el estado de deterioro de las estructuras civiles de gran envergadura, ya que algunas se aproximan a la etapa final de su vida útil.
- En términos de gestión, manejo y mitigación de las amenazas de los desastres, una base de datos que provee información sobre el estado de las estructuras civiles pre y post-desastre es crucial para la planificación y la toma de decisiones de las autoridades.
- Cada vez hay más estructuras en el mundo como los puentes de gran tamaño o con características especiales que constituyen líneas vitales de tránsito para muchas ciudades. Su operación no puede ser interrumpida y garantizar su funcionamiento es un asunto crítico. Es necesario, entonces, un sistema de monitoreo continuo para detectar daños en tiempo real e implementar medidas correctivas a tiempo, antes de que el daño se agrave o se extienda.

Todos estos hechos impulsaron un gran esfuerzo a nivel internacional en la investigación y se han tenido avances en el desarrollo de sistemas inteligentes de detección de daño, sistemas de monitoreo basados en sensores de fibra óptica, sensores inalámbricos, sensores innovadores que emplean nuevos métodos de procesamiento de señales e identificación de parámetros dinámicos de las estructuras, etc.

En Estados Unidos, alrededor del 50% de los puentes fueron construidos antes de 1940, de los cuales el 27% presentan deficiencias estructurales [Atkan et al., 2001]. Tal es el caso del colapso del puente I-35W que cruzaba el río Mississippi (Minneapolis, USA) causado por la carga vehicular en una hora de gran aglomeración de tránsito el primero de agosto del 2007, ver figura 1.1.



Figura 1.1. Colapso de puente vial I-35W en Minneapolis, USA.

Lo anterior apunta al desarrollo de sistemas que puedan monitorear la integridad de una estructura y proporcionar un conocimiento a priori del posible daño frente a una determinada excitación o influencia dinámica, asunto que ha surgido como pieza fundamental en importantes líneas de investigación en ingeniería civil, ingeniería mecánica y aeroespacial, y que en los últimos años, ha sido base para el desarrollo de campos de investigación como el monitoreo de la integridad estructural (*SHM–Structural Health Monitoring*) y predicción del daño (*Damage Prognosis*), entre otros [Sohn et al., 2004]. En términos prácticos, esto se ha plasmado a través de la colocación de sensores sobre las estructuras capaces de proveer datos en tiempo real y, con estos datos, establecer si hay o no daño y realizar la valoración estructural correspondiente.

En el año de 2013, la empresa Bentley Systems, con sede en Pensylvania, EUA, desarrolló una plataforma llamada *InspectTech* para recolección y administración de la información generada por 13000 puentes que son monitoreados e inspeccionados a cargo del Departamento de Transportes de Minnesota (MnDOT). Mas cuando el gobierno central exige una inspección y un reporte detallado de cada uno de ellos en períodos de dos años, la necesidad de dejar de lado archivos Excel, Word y bases de datos Access es imperativa.

En el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuenta con el Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), el cual es un sistema integral para planificar la conservación de la infraestructura a partir de una calificación otorgada por técnicos especializados, quienes realizan inspecciones visuales a los puentes. Cabe destacar que el promedio de vida de los siete mil doscientos puentes que conforman la red federal de carreteras es de más de 40 años; incluyendo los más recientes que han sido construidos con altas especificaciones técnicas, tales como los puentes Río Papaloapan, Chiapas y Tampico. Asimismo, es importante señalar que la mayoría de los puentes están ubicados en zonas de alto riesgo ambiental que justifican el monitoreo permanente; particularmente por los cambios climáticos, caída de lluvias torrenciales y huracanes que cada vez son más severos [4].

1.1 CMPEI

Si bien es cierto que el SIPUMEX es una herramienta que ha sido útil para administrar los puentes mexicanos, éste puede ser mejorado y actualizado aprovechando la tecnología más reciente y considerando que existen riesgos que no pueden ser detectados por las inspecciones visuales.

La conservación de la infraestructura se ha convertido en una actividad estratégica, en el cual la aplicación eficiente de los recursos financieros es un punto primordial, por lo que el Instituto Mexicano del Transporte propuso a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la creación del Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), el cual está orientado a la realización de monitoreo estructural de los puentes y estructuras más importantes dentro de la infraestructura del transporte de México. A su vez, el IMT, a través de su Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), se ha dado a la tarea de realizar proyectos de monitoreo estructural con el fin de estudiar el comportamiento de diversas estructuras, algunos de estos casos se presentan a continuación.

1.2 Monitoreo caso Puente Río Papaloapan

El puente se encuentra en el kilómetro 85 + 980 de la autopista la Tinaja-Acayucan, en el estado de Veracruz, fue construido en el año de 1994 y puesto en servicio un año después, es del tipo atirantado con un claro de 203 m y una longitud total de 407 m. El puente tiene 112 cables distribuidos en 8 semi-arpas con 14 cables cada una, ver figura 1.2.



Figura 1.2. Puente Río Papaloapan

En enero del año 2000, se fracturó uno de sus anclajes superiores. Un análisis posterior de la falla reveló que el material del anclaje era un acero con un tamaño de grano muy grande que lo hacía frágil y con una muy baja tenacidad; adicionalmente, presentaba un alto contenido de porosidades e inclusiones, haciéndolo susceptible a falla por fatiga [5].

Debido a la falla en el elemento superior de anclaje del puente, el objetivo del monitoreo se planeó para el seguimiento a largo plazo de varios parámetros estructurales críticos del puente en conjunto con pruebas controladas realizadas a intervalos periódicos.

De los 62 sensores instalados 24 corresponden a sensores de deformación unitaria para concreto, 10 de estos sensores se instalaron sobre la cara inferior de la viga principal del puente del lado aguas abajo, otros 10 se colocaron en la viga principal del lado aguas arriba, en ambos conjuntos la distribución de estos sensores sobre la viga principal fue cada 30 metros, procurando cubrir la longitud total del puente. Estos extensómetros se orientaron longitudinalmente respecto al flujo vehicular; los últimos 4 extensómetros se instalaron longitudinalmente en cada una de las caras internas de las pilas, a una altura de 20 metros con respecto al tablero del puente. Otros 24 sensores son acelerómetros, de los cuales 16 se colocaron en los tirantes N° 4 y N° 11 de cada una de las 8 semi-arpas, instaladas a la mitad de la longitud total de cada tirante. Los 8 acelerómetros restantes se instalaron en la parte superior de cada una de las cuatro pilas, distribuidos en pares para medir en cada pila las vibraciones, orientados longitudinal y transversal al tránsito vehicular. Otros 8 sensores son inclinómetros, los cuales se colocaron en las pilas a la misma altura que los acelerómetros e igualmente orientados, en los planos longitudinal y

transversal al tránsito vehicular. Otros cinco sensores corresponden a sensores de temperatura; de los cuales 3 se instalaron en la cara inferior de la viga principal aguas arriba y los últimos 2 se instalaron sobre la cara inferior de la viga principal aguas abajo, ambos grupos de sensores se distribuyeron de manera equidistante. Por último, el sensor de desplazamiento se colocó debajo de la junta de expansión ubicada al principio del carril que se dirige hacia la caseta de Cosamalopan. En la figura 1.3 se muestra el diagrama general de la distribución de los sensores a lo largo del puente.

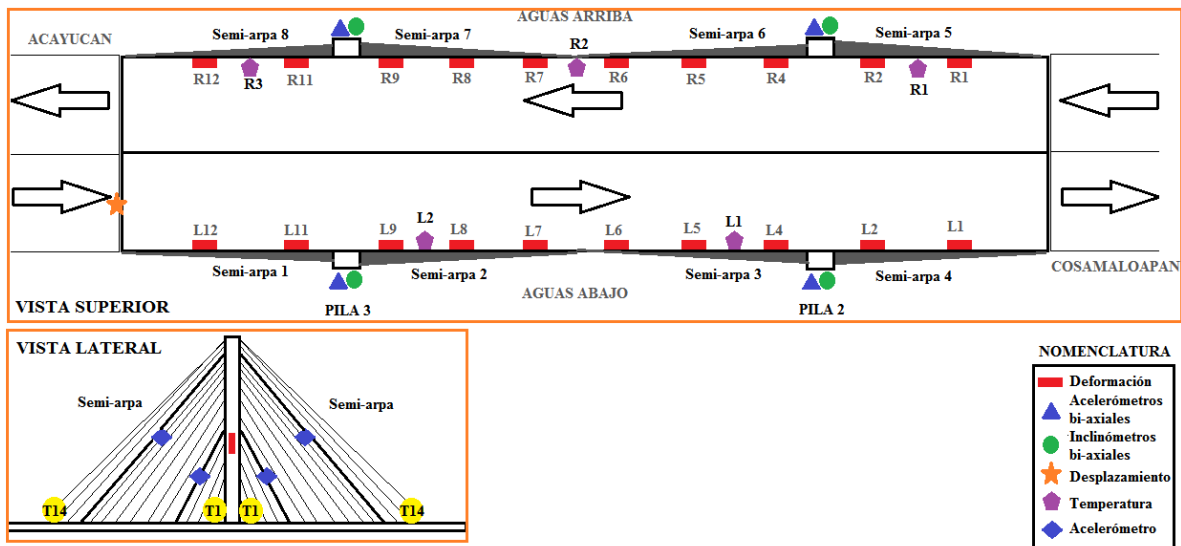


Figura 1.3. Esquemático de la instrumentación en el puente Río Papaloapan

Como equipo complementario se instalaron dos cámaras de video en las caras internas del par de pilas aguas abajo, a 20 metros respecto al tablero del puente, y una estación climatológica que se ubicó en la parte superior de la pila 2 que soporta a las semi-arpas 3 y 4. En la misma pila, pero a 12 metros respecto al tablero del puente, se instaló un gabinete con temperatura y humedad controlada, ver figura 1.4, dentro de éste se centraliza el sistema de instrumentación que consta de la unidad de procesamiento con monitor, teclado y ratón; el interrogador de fibra óptica de 4 canales, un multiplexor y el sistema de comunicación satelital.



Figura 1.4. Gabinete de control del puente Río Papaloapan

A principios del 2013 se realizaron actividades de ajustes en el sistema de adquisición de datos para el almacenamiento continuo de la información proveniente de los sensores. El sistema instalado adquiere datos de manera continua de 62 sensores, a una frecuencia de 125 Hz, almacenándolos en la PC en bloques de 2 minutos [6].

2 Sistema de Instrumentación Mezcala

El Puente Mezcala tiene una longitud total de 890 m y una altura de 160 m, en una superestructura de 6 claros apoyado en siete puntos: dos estribos y cinco pilones de concreto, con un tablero formado de 2 traveses de acero longitudinales metálicas de sección I y losa de concreto reforzado; 4 de los claros son de tipo atirantado de semi-arpa, con una longitud del claro central de 311 m y un ancho de 20 m, la altura de la pila principal es de 213 m (ver figura 2.1).

El puente se ubica en el municipio de Mártir de Cuilapan Guerrero, cruza el río Balsas y está situado en las coordenadas geográficas: 17°56'8.24"N, 99°22'13.05"O, que corresponde al kilómetro 221 de la Autopista del Sol (95D) el cual comunica a la ciudad de Cuernavaca Morelos, con la ciudad de Acapulco Guerrero.

Este es uno de los 10 puentes atirantados de la red federal carretera, contribuye al desarrollo comercial de la zona del pacífico, se encuentra ubicado en una zona sísmica tipo D, considerada como severa de acuerdo con los datos del INEGI. Además, se ubica en una región que presenta inestabilidad en las laderas. Todos estos factores soportan la necesidad del monitoreo permanente continuo y de largo plazo de la estructura, por lo cual se propuso un sistema de instrumentación basado en fibra óptica, el cual ha demostrado ser robusto, confiable, trazable, con alta sensibilidad y poco mantenimiento de los sensores y sistemas de adquisición de datos [7].



Figura 2.1. Puente Mezcala

La problemática del puente se sitúa en dos acontecimientos:

El primero, se presenta un comportamiento inusual en el estribo 7, ubicado en dirección hacia Cuernavaca, esto a causa de modificar durante el proceso constructivo, el alineamiento de la calzada del puente para adelantar una curva de la carretera a fin de evitar un talud inestable.

El segundo acontecimiento por un accidente vehicular, al incendiarse el fuego afectó una zona de tirantes del puente.

Por lo que se realizaron las gestiones necesarias para monitorear de manera permanente este puente. La instrumentación se realizó a finales del 2015 y el sistema comenzó a operar de manera continua en 2016.

La instrumentación del puente Mezcala está compuesta por tres sistemas principales, para su óptimo funcionamiento; el primero, es el sistema de adquisición de datos, el segundo es el sistema de energización y el último es el sistema de comunicaciones remotas.

2.1 Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos consta de 36 acelerómetros, 16 inclinómetros, 10 extensómetros de concreto, 48 extensómetros de acero, 11 sensores de temperatura, un medidor de desplazamiento, 2 cámaras de video, una estación climatológica, un interrogador, un multiplexor y una unidad para procesamiento de información-control. Cada uno de los sensores y equipos instalados persigue objetivos particulares para el monitoreo de la integridad estructural del puente Mezcala.

Los acelerómetros se seleccionaron para medir las respuestas dinámicas de las pilas y de algunos de los tirantes. La información proporcionada por ellos permite conocer el desempeño estructural de las torres bajo condiciones de operación normal, evaluar la integridad estructural de las mismas posterior a sismos, ráfagas de viento o accidentes. Por otro lado, los acelerómetros instalados en algunos de los tirantes se utilizan para determinar la tensión de los cables y conocer de manera indirecta los pesos asociados a los vehículos que transitan sobre el puente.

Los inclinómetros tienen la finalidad de dar seguimiento del nivel de inclinación de las pilas en el tiempo y, en caso de sismo, determinar si existe una inclinación permanente posterior al evento.

La función de los extensómetros de acero y de concreto es conocer la dinámica del puente y asociar las deformaciones con la carga de vehículos y aquellas asociadas con los cambios de temperatura durante el día o estación del año. La información proporcionada por estos sensores es fundamental para la calibración de modelos de elemento finito y para la implementación de técnicas de detección de daño.

Los sensores de temperatura persiguen el objetivo de proporcionar información de los cambios de temperatura en diferentes secciones del puente y correlacionar la información con las deformaciones para poder asociar el nivel de deformación por incremento de temperatura.

El medidor de desplazamiento es utilizado para conocer la deformación de la junta de expansión por cambios de temperaturas globales y condiciones normales de operación.

El 'cerebro' en la instrumentación del puente Mezcala es una computadora que procesa los datos recabados por cada uno de los 122 sensores, además, ésta controla la frecuencia de adquisición de datos del sistema, el tamaño de los archivos y la visualización de la información. La PC en conjunto con un interrogador controlan y adquieren los valores de cada sensor en intervalos iguales de tiempo (ver figura 2.2).

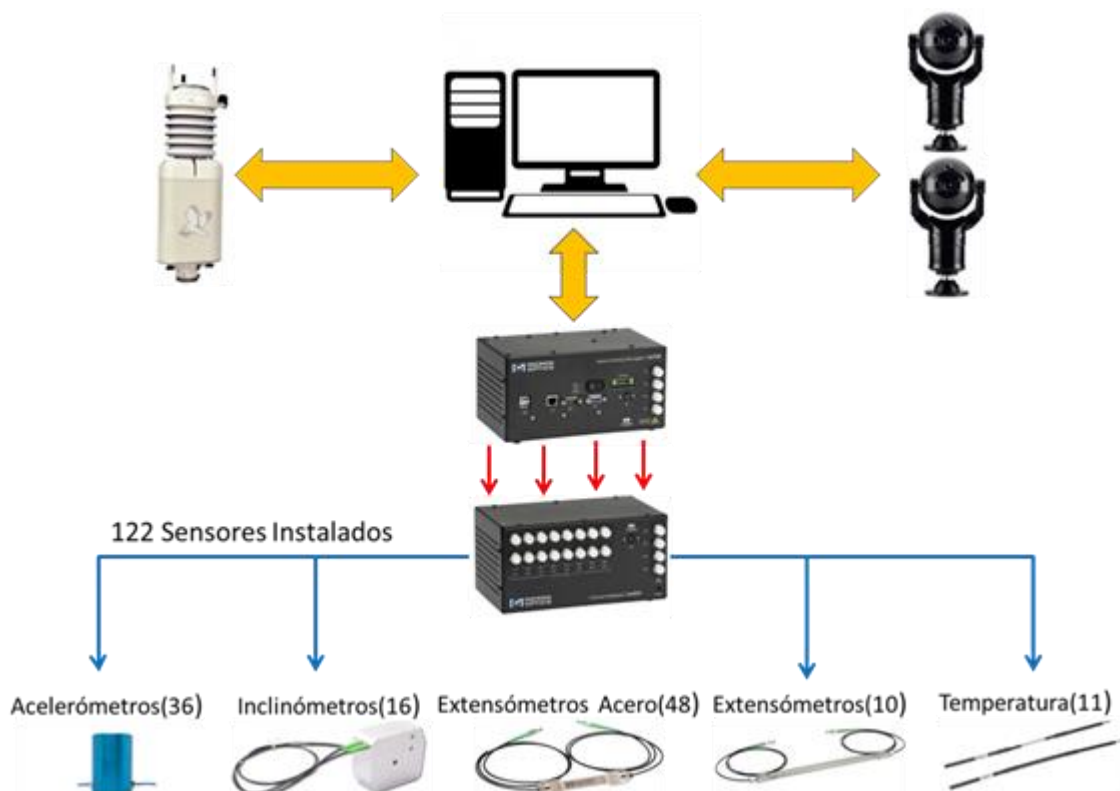


Figura 2.2. Módulo de sensores equipos de adquisición y pre procesamiento de datos

En total, se instalaron 122 sensores de fibra óptica, los cuales están distribuidos en 14 canales de adquisición. Para tener una mayor sensibilidad y desempeño del sistema de adquisición de datos, los sensores fueron agrupados por tipos de sensores, de tal manera que 4 canales fueron utilizados para conectar acelerómetros, 2 canales para inclinómetros y 8 canales para los sensores de deformación. A su vez, los sensores de deformación fueron divididos en 6 canales

para sensores instalados en acero y 2 canales para sensores instalados en concreto. A continuación, se describe como está conformado cada canal:

- Canal 1.1: Está formado de 9 acelerómetros, instalados en el lado aguas abajo del puente Mezcala, 4 de los acelerómetros fueron instalados en los cables 3 y 8 de la pila 2, semiarpas 8 y 9, 2 más en la semiarpa 10, que pertenece a la pila 2 en los tirantes 4 y 11, 2 instalados en la parte superior de la pila 2 para los planos XZ y YZ y uno en la pila 3 para el plano XZ.
- Canal 1.2: Está formado de 9 acelerómetros, instalados en el lado aguas abajo del puente Mezcala, 4 de los acelerómetros fueron instalados en los cables 3 y 7 de la pila 4, semiarpas 7 y 8, 2 más en la semiarpa 9, que pertenece a la pila 3 en los tirantes 4 y 11, 2 instalados en la parte superior de la pila 4 para los planos XZ y YZ y uno en la pila 3 para el plano YZ.
- Canal 1.3: Está formado de 9 acelerómetros, instalados en el lado aguas arriba del puente Mezcala, 4 de los acelerómetros fueron instalados en los cables 3 y 7 de la pila 4, semiarpas 5 y 6, 2 más en la semiarpa 4, que pertenece a la pila 3 en los tirantes 4 y 11, 2 instalados en la parte superior de la pila 4 para los planos XZ y YZ y uno en la pila 3 para el plano YZ.
- Canal 1.4: Está formado de 9 acelerómetros, instalados en el lado aguas arriba del puente Mezcala, 4 de los acelerómetros fueron instalados en los cables 3 y 8 de la pila 2, semiarpas 1 y 2, 2 más en la semiarpa 3, que pertenece a la pila 2 en los tirantes 4 y 11, 2 instalados en la parte superior de la pila 2 para los planos XZ y YZ y uno en la pila 3 para el plano YZ.
- Canal 2.1: Está formado por 8 inclinómetros, los cuales se localizan 2 en el estribo del lado sur, 4 en la parte superior de la pila 2, lado aguas arriba y lado aguas abajo y 2 inclinómetros más en la parte superior de la torre 3 lado aguas abajo. 4 de los inclinómetros están localizados para medir la inclinación en el plano XZ y 4 para medir la inclinación del plano YZ.
- Canal 2.2: Está formado por 8 inclinómetros, los cuales se localizan 2 en el estribo del lado norte, 4 en la parte superior de la pila 4, lado aguas arriba y lado aguas abajo y 2 inclinómetros más en la parte superior de la torre 3 lado aguas arriba. 4 de los inclinómetros están localizados para medir la inclinación en el plano XZ y 4 para medir la inclinación del plano YZ.
- Canal 3.1: Está formado por 12 sensores de fibra óptica, de los cuales 8 son de deformación para acero, tres de temperatura y un medidor de desplazamiento. Los sensores de deformación están colocados entre los claros 4, 5 y 6, para el caso de los sensores ubicados en el claro 5 y 6 se encuentran a la mitad de la longitud del claro tanto del lado aguas arriba como del lado aguas abajo en las vigas metálicas principales. En el caso del claro 4 se encuentran ubicados a un tercio y dos tercios de la longitud total del claro tanto del lado aguas arriba como del lado aguas abajo en las vigas metálicas principales. Los 3 sensores de temperatura están distribuidos 2 en el lado aguas arriba, uno en el claro 4 y otro en el claro 5 y el último en el lado

aguas abajo en el claro 4. Finalmente, el sensor de desplazamiento se ubicó en la junta de dilatación del claro 6.

- Canal 3.2: Está formado por 5 sensores de fibra óptica, de los cuales 4 son de deformación para acero y uno de temperatura. Los sensores de deformación están colocados en el claro 1, y se encuentran ubicados a un tercio y dos tercios de la longitud total del claro, tanto del lado aguas arriba como del lado aguas abajo en las vigas metálicas principales. El sensor de temperatura se ubicó del lado aguas arriba.
- Canal 3.3: Está formado por 6 sensores de fibra óptica, de los cuales 4 son de deformación para concreto y dos de temperatura. Los sensores de deformación están colocados en la parte superior de la pila 5, dos de ellos del lado aguas abajo y otros dos del lado aguas arriba, en tanto que los sensores de temperatura están distribuidos uno de cada lado.
- Canal 3.4: Está formado por 8 sensores de fibra óptica, de los cuales 6 son de deformación para concreto y dos de temperatura. Los sensores de deformación están colocados en la parte inferior de la pila 5, tres de ellos del lado aguas abajo y otros tres del lado aguas arriba, en tanto que los sensores de temperatura están distribuidos uno a cada lado.
- Canal 4.1: Está formado por 9 sensores de deformación de fibra óptica para acero, éstos se encuentran ubicados en el lado aguas arriba del claro tres. Los sensores se encuentran equidistantes a una distancia entre ellos de 29.5 metros.
- Canal 4.2: Está formado por 9 sensores de deformación de fibra óptica para acero, éstos se encuentran ubicados en el lado aguas arriba del claro dos. Los sensores se encuentran equidistantes a una distancia entre ellos de 30.7 metros.
- Canal 4.3: Está formado por 9 sensores de deformación de fibra óptica para acero, éstos se encuentran ubicados en el lado aguas abajo del claro tres. Los sensores se encuentran equidistantes a una distancia entre ellos de 29.5 metros.
- Canal 4.4: Está formado por 9 sensores de deformación de fibra óptica para acero, éstos se encuentran ubicados en el lado aguas abajo del claro dos. Los sensores se encuentran equidistantes a una distancia entre ellos de 30.7 metros [8].

2.2 Sistema de energización

El módulo de energización del puente Mezcala está configurado con base en el consumo de energía de los equipos instalados en el puente. Este módulo se divide en dos centros de alimentación, el primero de ellos, instalado en las caras interiores de la Pila 3, para suministrar energía a todos los equipos con excepción de los equipos asociados a la cámara de video instalada en la Pila 4. Por ello, fue instalado el segundo centro de alimentación en las caras internas de la Pila 4 lado aguas abajo. Los consumos de energía eléctrica son detallados en la Tabla 1.

Tabla 1.1 Consumo de energía eléctrica por equipo.

Ubicación	Equipo	Marca	Modelo	Voltaje VDC	Voltaje VAC	Potencia W
PILA 3	PC	DELL	XPS 8500	N/A	120	88.8
	Monitor	AOC	E2060s	N/A	120	30
	Interenfriadores	NMB-MAT	4715MS-12T-B5A	N/A	120	80
	Modem y Switch para antena satelital			N/A	120	120
	Interrogador	MicronOptics	SM-130	12	N/A	50.4
	Switch para equipos Ethernet	Netgear	FS105	12	N/A	10
	Sismómetro	NOMIS	Mini SuperGraph	6	N/A	8.4
	Estación climatológica	Weather Hawk	WXT 520	12	N/A	2.4
	Receptor estación climatológica	Campbell Scientific	RF401	12	N/A	2.4
	Convertidor Ethernet-Fibra Cámara 1	Comnet	CNFE1005S	12	N/A	4.8
	Convertidor Ethernet-Fibra Cámara 1	Comnet	CNFE1005S	12	N/A	4.8
	Encoder-Cámara 1	Bosh	VIP X1_XF_E	12	N/A	6
	Cámara 1	Bosh	MIC400	N/A	18	35
	Convertidor Ethernet-Fibra Cámara 2	Comnet	CNFE1005S	12	N/A	4.8
	PILA 4	Convertidor Fibra-Ethernet Cámara 2	Comnet	CNFE1005S	12	N/A
Encoder-Cámara 2		Bosh	VIP X1_XF_E	12	N/A	6
Cámara 2		Bosh	MIC400	N/A	18	35

Fuente: CMPEI

Para satisfacer la demanda de energía por el sistema de monitoreo y adquisición de datos, se instalaron 47 paneles solares de 240 watts, 32 baterías, 5 controladores de carga y 2 inversores de corriente en dos arreglos; el primer arreglo se configuró para energizar los equipos instalados en la Pila 3 y consta de 39 paneles solares, 24 baterías 4 controladores de carga y un inversor; el segundo arreglo (ver figura 2.3), se configuró para energizar la cámara instalada en la Pila 4, ésta consta de 8 baterías y 8 paneles solares.



Figura 2.3. Paneles solares del puente Mezcala

2.3 Sistema de comunicaciones

A través del proyecto México Conectado del Gobierno de la República, en el 2015 se logró la comunicación remota vía satelital.

El módulo de comunicación remota consta de una antena satelital ubicada en la Pila 3, lado aguas abajo (figura 2.4), un modem y un switch, con lo cual se obtiene un enlace simétrico a 1024 kbps.

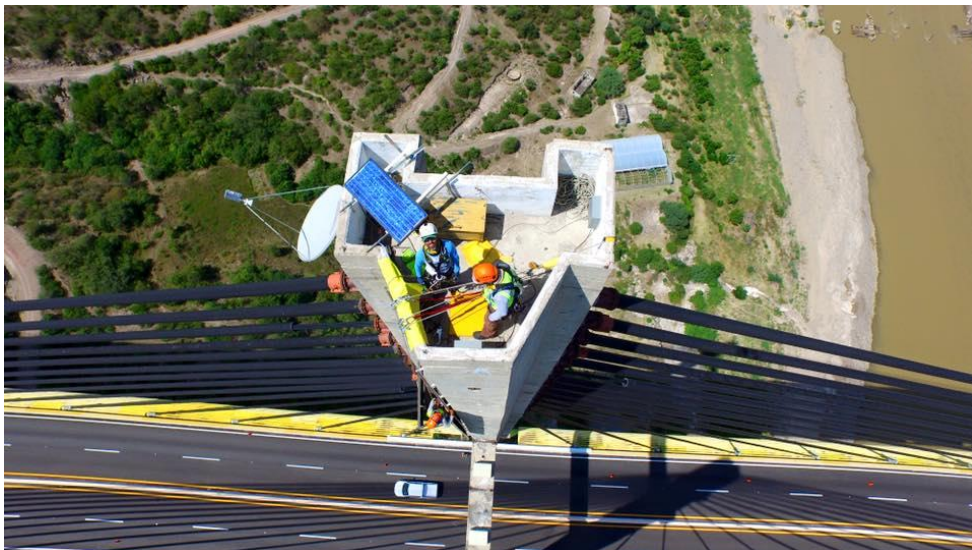


Figura 2.4. Antena satelital puente Mezcala.

3 Plataforma de Desarrollo

El IMT SIMonitorem, es una versión mejorada de la fusión de las herramientas IMT Monitorem y SIM (Sistema Inteligente de Monitoreo) desarrolladas por el CMPEI, que forman un conjunto de herramientas de software que recolectan, procesa, almacena y publica información producto del sistema de monitoreo del puente Mezcala. El usuario final “Requester Human” podrá consumir servicios web con datos pre-procesados y los visualizará de manera local mediante una página HTML.

El sistema IMT SIMonitorem es una plataforma diseñada para trabajar con sistemas operativos Windows, con herramientas *backend* para la adquisición y procesamiento de señales desarrolladas como instrumentos virtuales en *LabVIEW* que permitirán el almacenamiento de información en una base de datos *PostgreSQL*. Aunado se contarán con herramientas *frontend* desarrolladas con JavaScript, JSON, HTML5 y CSS3 para la visualización y despliegue de información.

3.1 Instrumentación virtual.

Un instrumento virtual consiste de una computadora del tipo industrial, o una estación de trabajo, equipada con poderosos programas (software) y hardware, tales como placas para insertar o tarjetas de adquisición que en conjunto cumplen las funciones de instrumentos tradicionales (La Instrumentación Virtual, 2005 [9]). Los instrumentos virtuales representan un apartamiento fundamental de los sistemas de instrumentación basados en el hardware a sistemas centrados en el software que aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las populares computadoras de escritorio y estaciones de trabajo. Aunque la PC y la tecnología de circuitos integrados han experimentado avances significativos en las últimas dos décadas, es el software el que realmente provee la ventaja para construir sobre esta potente base de hardware para crear los instrumentos virtuales, proveyendo mejores maneras de innovar y de reducir los costos significativamente. Con los instrumentos virtuales, los ingenieros y científicos construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a sus necesidades (definidos por el usuario) en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidos por el fabricante).

Cada instrumento virtual consiste de dos partes software y hardware. Un instrumento virtual similarmente tiene un precio accesible y muchas veces mucho menor que los instrumentos tradicionales similares para una tarea de medición actual. Sin embargo, los ahorros compuestos a través del tiempo, debido a la flexibilidad de instrumentos virtuales, son mucho más flexibles al cambiar tareas de medición. Un instrumento tradicional proporciona tanto software como circuitos de medición empacados en un producto con lista finita o funcionalidad fija utilizando el instrumento del panel frontal. Un instrumento virtual proporciona todo el software y hardware necesario para lograr la medición o tarea de control. Aunado a un instrumento virtual, ingenieros y científicos pueden ajustar la adquisición, análisis,

almacenamiento, unión y funcionalidad de presentación usando software productivo y potente. En la figura 3.1 se muestra el esquema de funcionamiento de un instrumento virtual. El cual consta de tres etapas: adquisición, análisis y visualización.

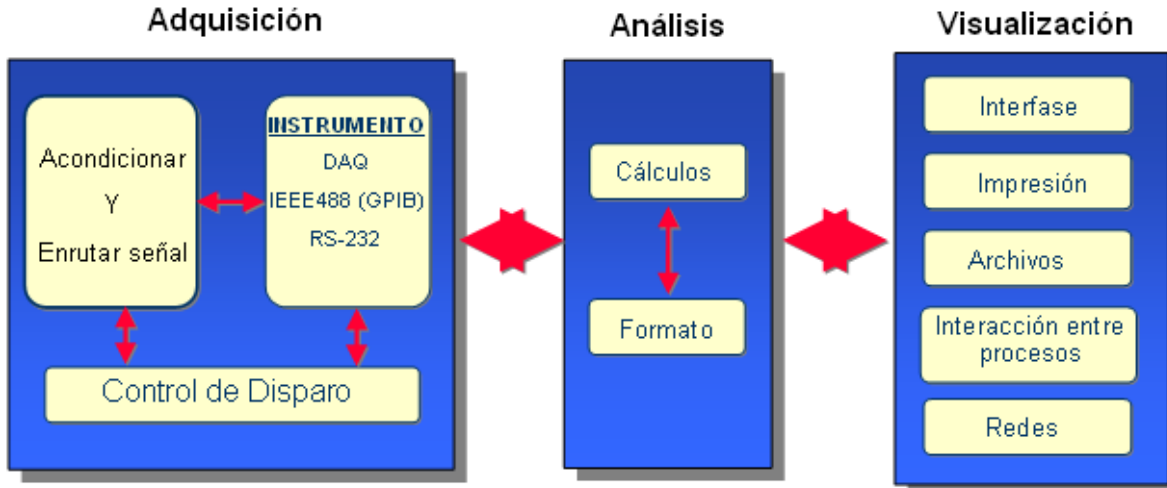


Figura 3.1. Esquema de funcionamiento de un instrumento virtual
Fuente: (La Instrumentación Virtual, 2005)

La etapa de adquisición se puede realizar con diferentes dispositivos y tipos de comunicación, estos pueden ser: tarjetas de adquisición de datos, puerto serial, puerto paralelo, cámaras, comunicación TCP/IP, PLC y fibra óptica. En la etapa de análisis se pueden realizar diferentes procesamientos de señales como: transformadas matemáticas, análisis estadístico, cálculo de tendencias, algoritmos de control clásico, algoritmos de control inteligente y cálculo de índices de desempeño.

En la última etapa de visualización se muestran en el monitor de la PC los datos adquiridos y procesados como: gráficas en el dominio del tiempo, gráficas en el dominio de la frecuencia, generación de alarmas, registro de datos históricos y envío de datos en redes. Son muchos los programas que se utilizan para el diseño de instrumentos virtuales. Los programas más utilizados son: LabView (National Instrument, 2005), (la interface con el usuario se muestra en la figura 3.2), Matlab (la interface con el usuario se ilustra en la figura 3.3) y Scada (la interface con el usuario se puede observar en la figura 3.4).

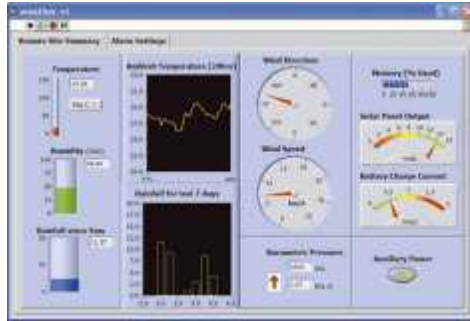


Figura 3.2. LabVIEW (Laboratory Virtual Engineering Workbench)

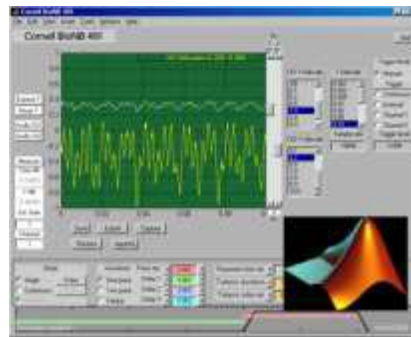


Figura 3.3. MATLAB (MATríz LABoratory)



Figura 3.4. Plataformas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition)

3.2 LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), es un poderoso y flexible software de análisis e instrumentación creado por National Instruments. Está basado en el lenguaje de programación gráfico G. LabVIEW utiliza una terminología familiar a científicos e ingenieros y los íconos gráficos usados para construir los programas en G son fácilmente identificados por inspección visual. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se le conoce como instrumentación virtual. Por este motivo, los programas creados en LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (*Virtual Instrument*). También, relacionado con este

concepto, se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, entre otros, y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente (Figura 3.5).

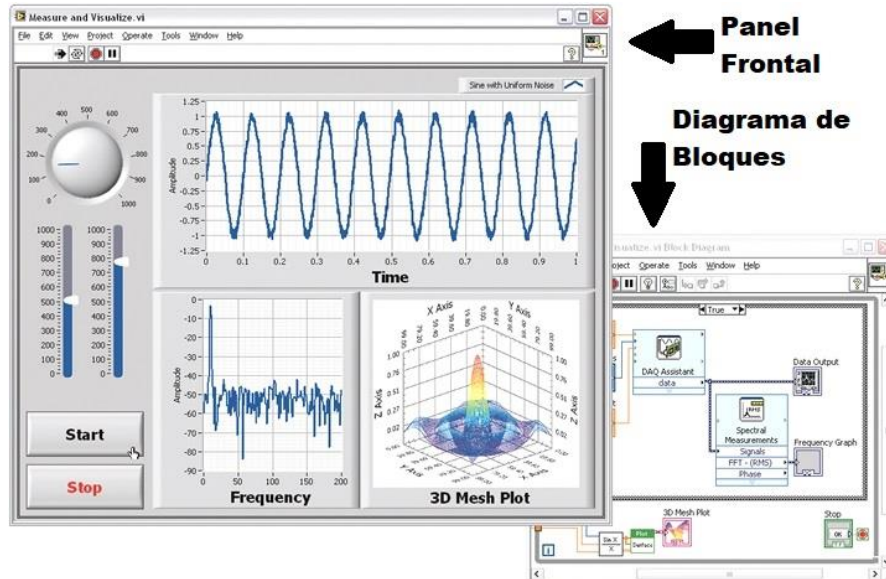


Figura 3.5 Características de LabVIEW

LabVIEW es un software de desarrollo versátil para la adquisición de datos. Permite desarrollar aplicaciones hechas a la medida para la manipulación e interpretación de información. Esta información comúnmente es adquirida por medios electrónicos, utilizando tarjetas de adquisición de datos que, a su vez, adquieren información proveniente de diferentes tipos de sensores (presión, deformación, temperatura, etc.), los cuales, en conjunto forman instrumentos virtuales desarrollados en LabVIEW (National Instrument, 2005).

3.3 Bases de datos (PostgreSQL)

Una base de datos (cuya abreviatura es BD) es una entidad en la cual se pueden almacenar datos de manera estructurada, con la menor redundancia posible. Cada base de datos se compone de una o más tablas que guarda un conjunto de datos. Cada tabla tiene una o más columnas y filas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que se quiera guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.

Entre las principales características de las bases de datos se pueden mencionar:

- Acceso concurrente por parte de múltiples clientes.
- Redundancia mínima.

- Integridad de los datos.
- Consultas complejas optimizadas.
- Seguridad de acceso.
- Respaldo y recuperación.
- Acceso a través de lenguajes de programación estándar.

Diferentes programas y diferentes usuarios deben poder utilizar el sistema de base de datos. Por lo tanto, existen los “Sistemas de Gestión de Bases de Datos” que son un tipo de software dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, un lenguaje de manipulación de datos y un lenguaje de consulta. Comúnmente el lenguaje SQL es el más universal de los sistemas de base de datos. Este lenguaje permite realizar consultas a las bases de datos para mostrar, insertar, actualizar y borrar datos.

Entre los diferentes sistemas de gestión de bases de datos existe PostgreSQL, el cual es un sistema de administración poderoso, capaz de manipular grandes cantidades de datos, además de ser de uso libre.

3.4 Visualización WEB (JavaScript, HTML y CSS)

Hoy en día, gracias al progreso acelerado de la tecnología en el área de comunicaciones e información, se destacan varios avances los cuales se desencadenan en digitalización de señales, transmisión de datos, telefonía móvil, comunicación satelital, la fibra óptica, entre otros, los cuales están cambiando el mundo. Con todas estas herramientas tecnológicas avanzadas se obtiene un sistema de conexión universal, internet, el cual permite interconexión de diferentes dispositivos, algunos de ellos son sensores, que forman parte de sistemas integrales los cuales permiten conocer el estado de una o muchas variables de manera remota, estos sistemas comúnmente se les conoce como monitoreo remoto y pertenecen a la filosofía del “Internet Industrial de las Cosas” o *IloT (Industrial Internet of Things* por sus siglas en Inglés). El concepto de IloT se puede conceptualizar como la interconexión de redes; es decir, una red de sensores y/o actuadores (pueden ser por radio frecuencia, red eléctrica, fibra óptica, etc.) que se conecta a una tarjeta de adquisición de datos que se localiza en una PC. Esta computadora puedes estar conectada a una red local de trabajo donde se configuren y manipulen dichos sensores, esta red local de trabajo se conecta, a su vez, al Internet en el cual a través de un teléfono inteligente o una computadora portátil se puede visualizar y manipular los sensores de manera remota. Esta interconexión de redes hace necesario el desarrollo de interfaces que permitan transmitir la información de una red a otra, además de la visualización y control de datos para el usuario final. Una de las herramientas tecnológicas para el desarrollo de esta interfaz final es la programación WEB.



Figura 3.6 Lenguajes de “Backend” y “Frontend”

En el campo de la programación WEB, las tecnologías se dividen en dos (Figura 3.6), “Backend” y “Frontend”. El *Frontend* son todas aquellas tecnologías que corren del lado del navegador web, generalizando en tres lenguajes HTML, CSS (*HyperText Markup Language* y *Cascading Style Sheets*, por sus siglas en inglés respectivamente) y JavaScript. Estos lenguajes se encargan de consumir datos y presentarlos en una página WEB de manera estructurada y estilizada. El *Backend* es el programa servidor que usa lenguajes como PHP, Python, Java, LabVIEW, etc., y se encarga del procesamiento de datos y el almacenamiento de información (Bases de datos).

4 IMT Monitoreo

La plataforma IMT Monitoreo sirve en la adquisición, registro y procesamiento de datos provenientes de un sistema de instrumentación de sensores FBG, los cuales se conectan a un interrogador que, a su vez, se conecta a una PC (Figura 4.1). Dicha plataforma está diseñada y programada para que funcione con los equipos de interrogación de la marca Micron Optics, específicamente con el interrogador sm130 y el multiplexor sm041.

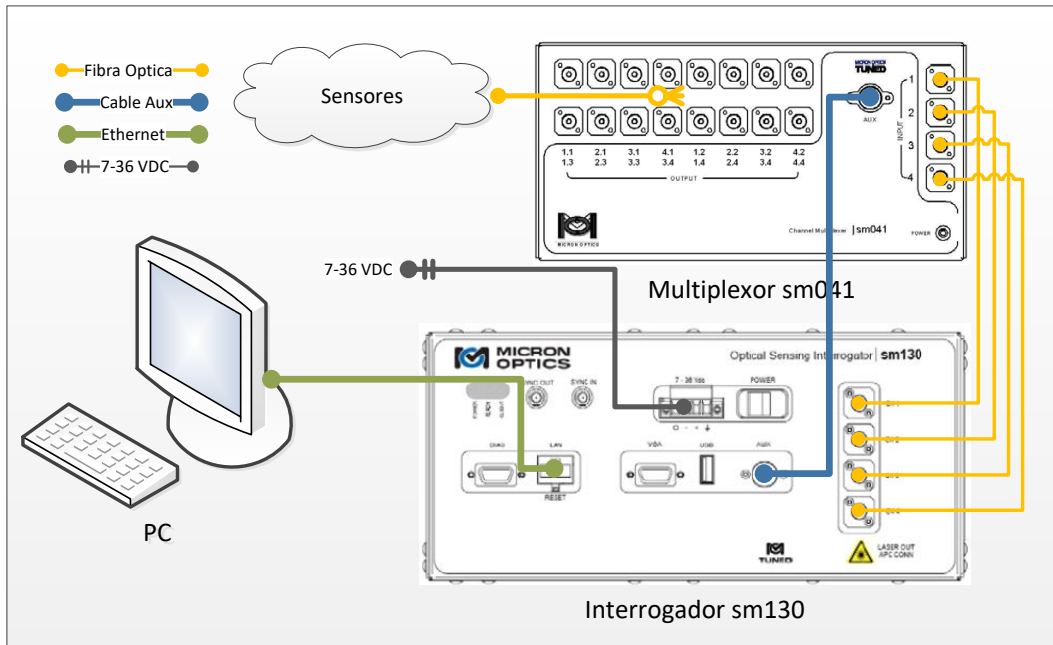


Figura 4.1. Conexiones de hardware para el monitoreo estructural

El programa está dividido en cuatro secciones principales: adquisición, sensores, gráficas y configuraciones (Marcadas con azul en la Figura 4.2). En la sección de “Adquisición de señales” se pueden manipular las amplitudes y visualizar los sensores FBG detectados en cada uno de los canales (Sección marcada con verde en Figura 4.2). La sección “Vista de amplitudes”, está subdividida en cuatro subsecciones; en la sección amarilla se muestra la dirección IP a la que se conectó hacia el interrogador, control de selección de canales y modelo y número de serie del interrogador. En la sección de color rojo se manipulan las ganancias y niveles de umbral, así como indicadores de picos referentes a cada sensor FBG; en la sección de color gris y el gráfico sirven para visualizar los picos de los sensores y herramientas de visualización.



Figura 4.2. IMTOPTICS - Pantalla de Adquisición

Esta plataforma funciona con un protocolo de comunicación basado en TCP/IP el cual se puede implementar en LabVIEW; esta plataforma de software funciona a partir de una programación orientada a objetos, estos objetos pueden ser indicadores y controles, los cuales responden a eventos ya programados (máquina de estados). La estructura general de la plataforma se muestra a continuación:

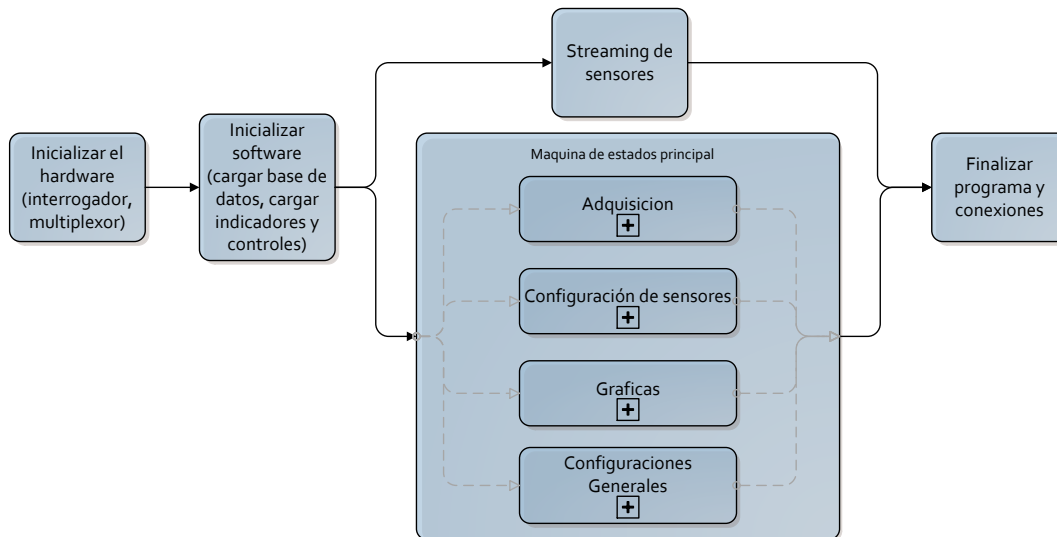


Figura 4.3. Esquema general del diseño del software

Una vez que el espectro se ha adquirido y configurado de manera adecuada en al apartado de Adquisición, las características de los picos espectrales resultantes están listos para su uso en la siguiente capa de procesamiento de datos: la pestaña Sensores.

La pestaña Sensores es la sección en donde los picos espectrales se asignan atributos y propiedades para identificarlos como sensores FBG. Esos elementos FBG resultantes pueden servir entonces como la base para los cálculos de orden superior (sensores calibrados). El apartado Sensores (Figura 4.4) se subdivide en dos secciones. La mitad superior de la etiqueta se encarga de la definición de los FBG's, mientras que la parte inferior define los sensores calibrados.

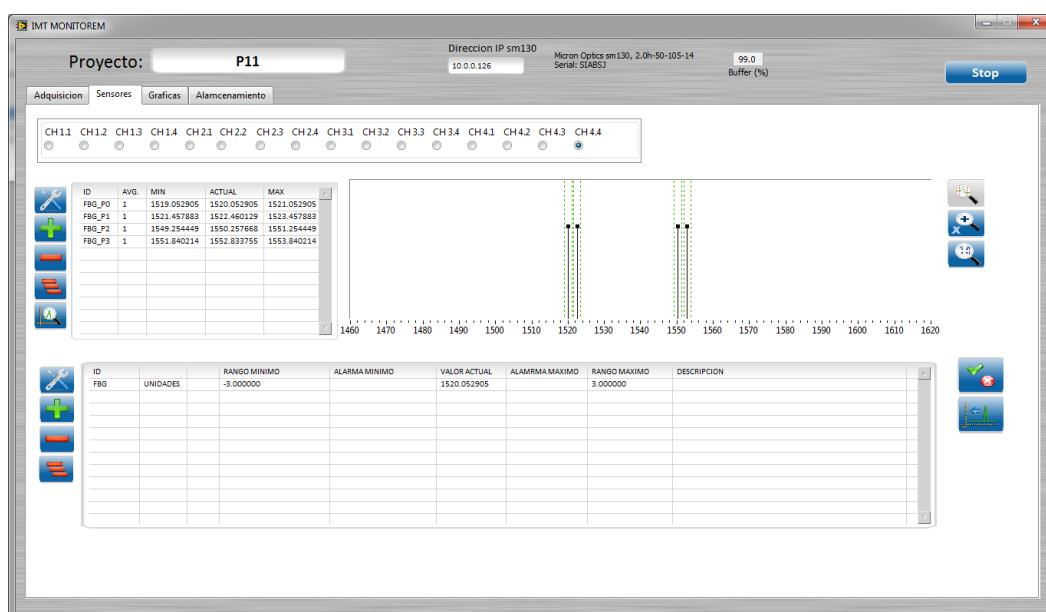


Figura 4.4. Pestaña: Sensores

Una vez que los sensores han sido definidos, la primera de las pestañas de visualización de datos puede ser utilizados. La ficha Gráficos (Figura 4.5) permite al usuario configurar de forma independiente hasta cuatro indicadores de gráfico, con cada gráfico se pueden visualizar datos de varios sensores del mismo tipo.

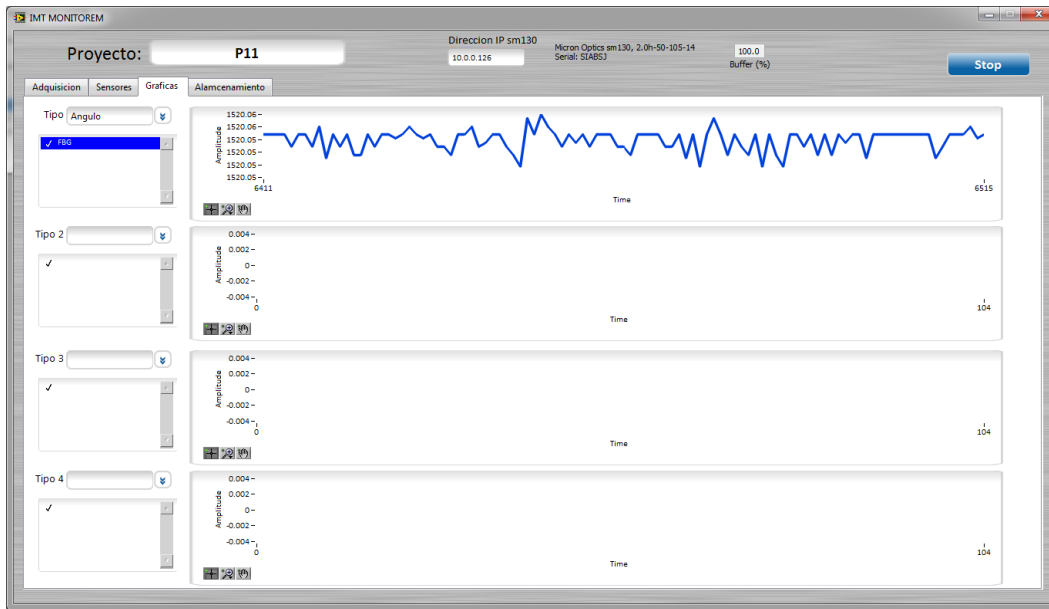


Figura 4.5. Pestaña: Gráficos

En la pestaña de almacenamiento (Figura 4.6), el programa tiene la función de configurar los parámetros básicos para el almacenamiento de los datos, teniendo como características de configuración la ruta de la carpeta donde se captura la información, el límite del tamaño del archivo en función del tiempo y adquisición de los datos.

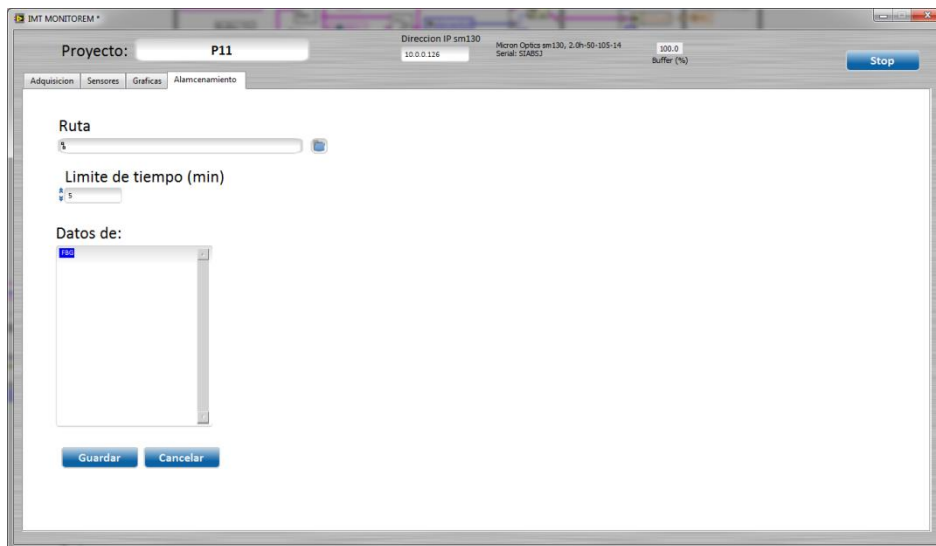


Figura 4.6. Pestaña: Almacenamiento

5 Sistema Inteligente de Monitoreo (SIM)

El Sistema Inteligente de Monitoreo (SIM) es una herramienta que evalúa el comportamiento estructural de los puentes, lo que permite dar seguimiento a los eventos que provocan una respuesta diferente a las condiciones de operación normal de la estructura. Las actividades del SIM se ejecutan en coordinación con las autoridades responsables de la conservación y mantenimiento de los puentes, así como las autoridades responsables de la seguridad de los usuarios.

Esta plataforma se diseñó para detectar cambios en el comportamiento de operación normal del puente (primer nivel de alarma). Así como determinar cambios en las líneas de tendencias del comportamiento global del puente. En ambos casos, se genera una alarma cuando estos cambios superen ciertos límites preestablecidos. Para tener certeza de los valores de los límites, estos se obtienen del análisis de un conjunto de datos equivalentes a un año de monitoreo continuo.

5.1 Primer nivel de alarma

Corresponde al monitoreo continuo el comportamiento estructural del puente, niveles de alarma basados en los límites normales de operación, mediante los cuales se evalúan las mediciones directas de los sensores relacionados con los elementos estructurales críticos y la información se compara con los límites normales de operación obtenido de las ± 2.5 desviaciones estándar del valor de la media anual por cada sensor.

Cuando ocurre un evento atípico, se almacena en la computadora del puente la información del sensor que superó los límites, así como un bloque de datos, que incluyen la respuesta dinámica de todos los sensores, y el video correspondiente a antes y después de ser activada la alarma. Posteriormente, la información se envía al CMPEI en donde se revisan los datos y el video para determinar las causas de la alarma, en seguida se evalúa la alarma con la información anterior para, posteriormente, dar aviso a las autoridades y realizar un análisis adicional si la situación lo amerita. En la figura 5.1 se muestra el diagrama de flujo después de que un sensor sobrepasa los límites normales de operación. Este diagrama principal consiste en 8 sub-procesos que serán ejecutados únicamente cuando se requiera.

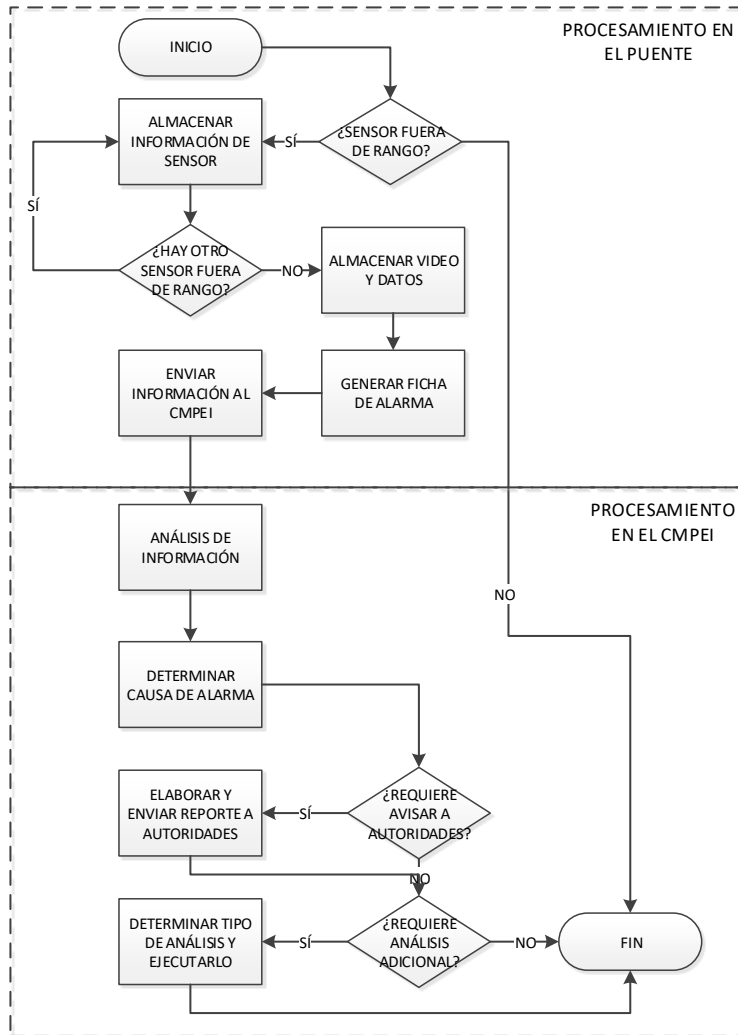


Figura 5.1. Diagrama de flujo general para el primer nivel de alarma

A continuación, se describen cada uno de los 8 procesos secundarios que intervienen dentro del diagrama principal. No necesariamente intervienen cada uno de ellos cuando se registra una alarma, ya que el diagrama de flujo principal presenta bifurcaciones en el cual existen situaciones que no ameritan la ejecución de todos los sub-procesos. Por ejemplo, en algunas situaciones no amerita informar a las autoridades, ni tampoco realizar un análisis adicional para determinar la causa de la alarma.

1) Almacenamiento de la información del sensor

Este subproceso se encarga de determinar la información más relevante del evento extraordinario como la fecha y hora en que se suscitó la alarma, el tipo de alarma, tipo y nombre del sensor, la máxima amplitud que se registró, así como obtener el nombre del archivo de datos donde se almacenan los datos del monitoreo antes y después al evento para, posteriormente, almacenar la información en un archivo de texto por cada día de monitoreo.

2) Almacenamiento de video y datos

En este sub-proceso, se almacenan tanto los datos de todos los sensores como el video de las cámaras un minuto antes y un minuto después de ocurrir un evento extraordinario. Contar con esta información permite determinar las posibles causas que provocaron la alarma, así como conocer la condición posterior de los sensores en el puente para tomar una mejor decisión sobre las acciones a ejecutar.

3) Generación de ficha de alarma

Se recaba información del puente que detectó la alarma, así como de los datos relevantes del sensor que la activó junto con el bloque de datos antes y después de la alarma. Los datos anteriores se vacían automáticamente en una plantilla de Excel que será el formato de alarma pre-llenado.

4) Envío de información al CMPEI

Después de recopilar la información relevante del evento extraordinario registrado en el puente, es importante transmitir esa información al CMPEI, para que un ingeniero determine la causa de la alarma y el riesgo que implica el evento registrado.

5) Análisis de datos

Lo siguiente es determinar la condición estructural del puente después del evento. Para ello se elige el sensor o sensores que sobrepasaron sus límites de operación normal para posteriormente realizarles un análisis de tendencia.

6) Determinación de la causa de alarma

En este momento se conocen los sensores que intervinieron en la activación de la alarma, también se cuenta con los datos y video, pero se desconoce la causa que provocó el evento extraordinario. Por tal razón, este sub-proceso interviene para determinar la causa por la cual se inició la alarma. Entre las principales causas están las provocadas por tránsito pesado por uno o más vehículos, condiciones climatológicas como lluvia o fuertes ráfagas de viento, sismo, falla súbita de algún elemento estructural o alguna otra situación.

7) Elaboración y envío de reporte a autoridades

Después de recibir la información completa de la alarma en el CMPEI y haber concluido el análisis de la información se debe tomar la decisión de avisar a las autoridades responsables del puente: Protección civil local, Policía Federal, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Caminos y Puentes Federales, Dirección General de Conservación de Carreteras u alguna otra dependencia o institución. Es prioritario decidir si se da aviso de manera urgente a las autoridades involucradas, o se le avisa formalmente con un reporte de la situación actual en el puente, así como algunas sugerencias de mantenimiento, si es que fuera necesario.

8) Determinación y ejecución de análisis adicional

Por último, si la situación lo amerita, se realiza un análisis complementario para determinar posible falla o simplemente para asegurar la condición estructural del puente. Algunos de los análisis a considerar son: seguimiento a la tendencia diaria, semanal o mensual de uno o más sensores; cálculo del modo de vibración de las vigas principales; cálculo de la tensión en uno o más tirantes en el puente; análisis de correlación entre sensores de interés o algún otro análisis adicional.

5.2 Segundo nivel de alarma

El segundo nivel corresponde al monitoreo y evaluación de los índices de desempeño estructural (monitoreo de mediano plazo), los cuales se calcularán a partir de las tendencias de las mediciones directas de los sensores y estarán encaminados a dar valores indicativos del comportamiento global del puente, vigilando el comportamiento y variaciones a largo plazo.

El SIM almacena por cada día de información un vector con los datos recopilados durante ese día. Completándose 15 días de datos continuos, se realiza el ajuste de distribución de los datos buscando el ajuste a la función de distribución que se eligió para cada sensor. Del ajuste se obtiene la media, desviación estándar de los datos y cantidad de elementos, estos datos son almacenados. El valor de la media se compara con los límites de tendencia normal: siendo el límite inferior la media de tendencia anual -2.5 desviaciones estándar respecto a la media; mientras que el límite superior se calcula de la media de tendencia anual +2.5 desviaciones estándar. En el caso que el valor de la media se encuentre fuera de los límites ya mencionados o que la función de distribución elegida ya no se ajuste a los datos de entrada, se generará una alarma y enseguida se analizarán los datos para determinar la causa que provocó el cambio. Después de determinar la causa de la alarma se estructurará de tal manera que se enviará la información a las autoridades y se realizará un análisis adicional si es requerido. En la figura 5.2 se observa el diagrama de flujo general correspondiente al segundo nivel de alarma, el cual está compuesto por 7 sub-procesos. El primer sub-proceso se realiza en el puente, mientras que el resto se efectúan en el CMPEI por personal del IMT.

A continuación, se describen sólo los dos primeros sub-diagramas que intervienen dentro del diagrama de flujo para el segundo nivel de alarma. El resto de sub-diagramas no se describirán, ya que siguen el mismo flujo de información desarrollado para el primer nivel de alarma. Los cuales se han descrito de manera previa.

1) Almacenamiento de vector de datos por día

En el primer sub-proceso se generan los datos de interés almacenándose en un archivo correspondiente a ese día. Al comienzo del siguiente día, se crea un archivo nuevo repitiéndose el proceso día con día.

Para el caso de los sensores de deformación, el proceso comienza registrando el valor de la deformación en un instante de tiempo, posteriormente a la señal

adquirida se le quita el offset provocado por efecto térmico, con ello únicamente se observan efectos de tensión y compresión por carga viva; A continuación, el proceso se sub-divide en dos partes: La primera atiende las deformaciones a tensión registradas por los sensores. La segunda se enfoca en almacenar los datos de las deformaciones a compresión. Ambas partes almacenan de manera independiente los datos obtenidos durante el día.

Para los sensores de aceleración la señal que registran se convierte a frecuencia mediante la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a un conjunto de datos de aceleración; posteriormente se calcula la tensión axial en el tirante almacenando el valor obtenido en un archivo correspondiente al día de monitoreo. Al comienzo del siguiente día se crea otro archivo para almacenar los datos que se registren durante ese día, repitiéndose el proceso.

2) Ajuste de distribución estadística

Para cada sensor se genera un vector de datos por día, al acumular 15 días se introduce en el software adecuado para realizar el ajuste de distribución. En el mismo, se habilitan la capacidad de ajustar los datos de entrada por lo menos a 10 funciones de distribución comúnmente empleadas, las cuales son: normal, normal logarítmica, valores extremos, gaussiana inversa, gama, logística, logística logarítmica, Weibull, Pearson5 y Beta general. Enseguida se realiza el ajuste y se ordenan las funciones de la que presente menor a mayor error chi-cuadrado. En el caso de que los datos de entrada no se ajusten a la función elegida, se almacenará: nombre, posición respecto al menor error chi-cuadrado, cantidad de datos de entrada, valor de la media y desviación estándar de cada una de las funciones a las que se ajustó. Se almacenará la misma información de la función elegida sólo cuando los datos de entrada se ajusten a ésta.

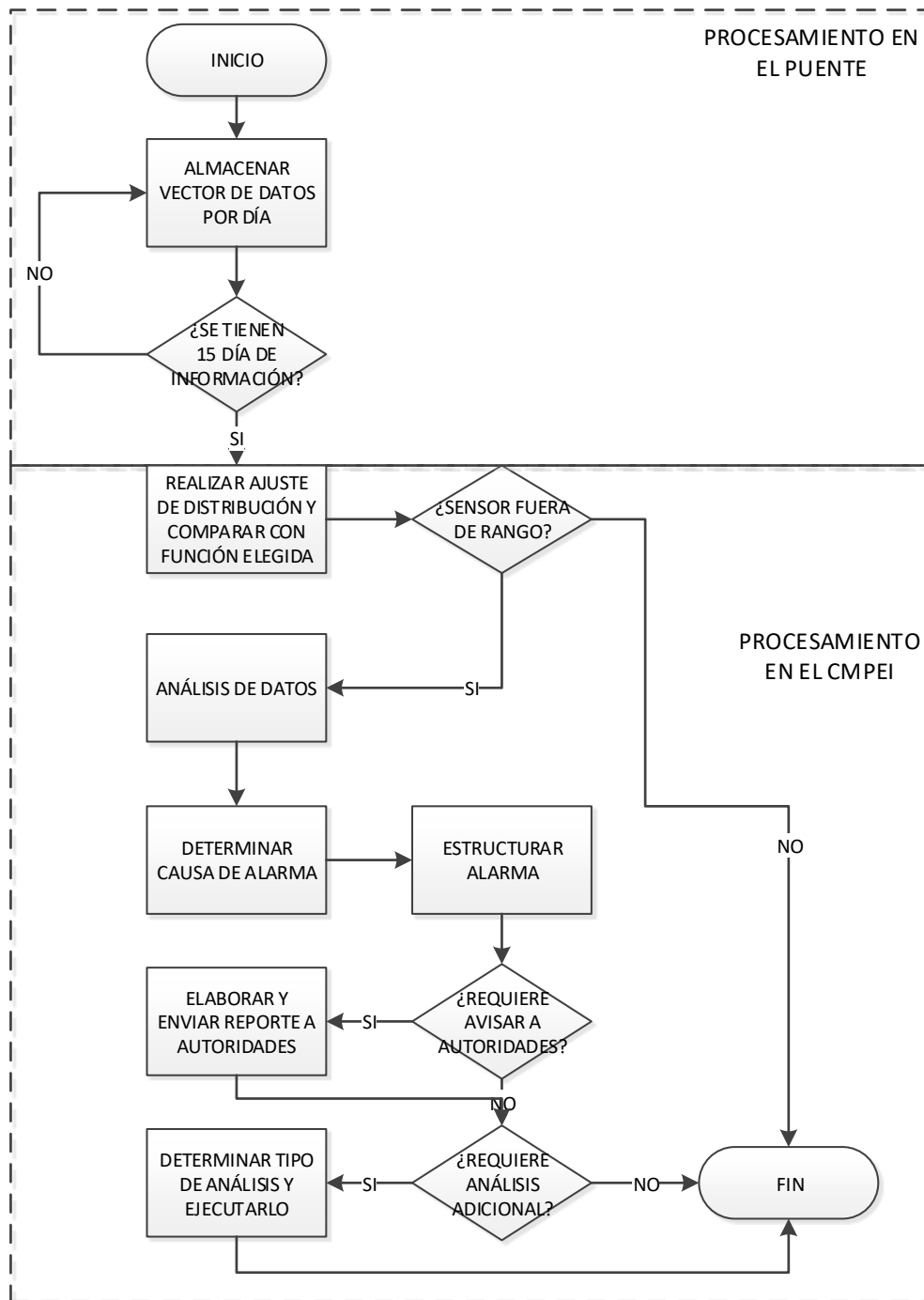


Figura 5.3 Diagrama de flujo general para el segundo nivel de alarma

6 Metodología

Con el fin de obtener una plataforma de software que integre las herramientas ya desarrolladas en el CMPEI (IMT Monitorem y SIM) para satisfacer las necesidades de monitoreo estructural del puente Mezcala se establece la siguiente metodología.

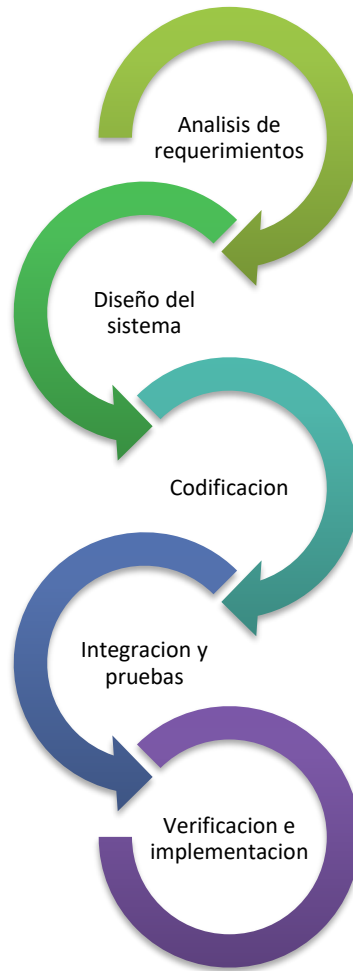


Figura 6.1. Metodología de diseño e integración del software.

- a) **Investigación inicial y análisis de requerimientos del desarrollo.** En esta fase se analizan las necesidades de los usuarios finales de la plataforma IMT-Monitorem para determinar los objetivos a cubrir. De este primer análisis surge una memoria llamada DER (documento de especificación de requisitos), que contiene la especificación completa de lo que debe hacer la plataforma sin entrar en detalles internos.

Es importante señalar que en esta etapa se debe acordar todo lo que se requiere del sistema según los objetivos y alcances del proyecto.

- b) Diseño del sistema.** Descomponer, organizar e integrar la plataforma en elementos que puedan elaborarse por separado, aprovechando las ventajas del desarrollo en equipo. Se elabora una descripción de la estructura relacional global del sistema y la especificación de lo que debe hacer cada una de sus partes, así como la manera en que se combinan unas con otras. Es conveniente distinguir entre diseño de alto nivel o arquitectónico y diseño detallado. El primero de ellos tiene como objetivo definir la estructura de la solución (una vez que la fase de análisis ha descrito el problema) identificando grandes módulos (conjuntos de funciones que van a estar asociadas) y sus relaciones. Con ello se define la arquitectura de la solución elegida. El segundo define los algoritmos empleados y la organización del código para comenzar la implementación.
- c) Codificación.** Es la fase en donde se implementará el código fuente, haciendo uso de prototipos, así como de pruebas y ensayos para corregir errores. Utilizando como ambiente de desarrollo principal NI LabVIEW, creando bibliotecas y componentes reutilizables dentro del mismo proyecto de desarrollo e integración para hacer que la programación sea un proceso mucho más rápido.
- d) Integración y Pruebas.** Los elementos, ya programados, se integran para componer el sistema, se comprueba que funciona correctamente y que cumple con los requisitos, antes de ser entregado al usuario final.
- e) Verificación e Implementación.** Es la fase en donde el usuario final ejecuta pruebas de funcionamiento de la plataforma antes de ser instalada para verificar concordancia en los datos de salida. Una vez evaluada y verificada la plataforma será instalada de manera definitiva.

7 Integración IMT SIMonitorem

Para tener una idea más clara de la integración de las plataformas IMT Monitorem y SIM para el puente Mezcala, se realizó el estudio de especificación de requisitos de software. Dicho estudio es una descripción completa del comportamiento del sistema que incluye un conjunto de casos que describe todas las interacciones que tendrán los usuarios, estos casos se conocen como requisitos funcionales.

7.1 Especificación de requisitos.

La especificación de requisitos de software (ERS) tiene como propósito definir las especificaciones funcionales que se consideraron al diseñar y desarrollar la integración de la plataforma IMT SIMonitorem en el puente Mezcala.

Como perspectiva general, el sistema es una plataforma diseñada para trabajar con sistemas operativos Windows, con herramientas backend para la adquisición y procesamiento de señales desarrolladas en LabVIEW que permite el almacenamiento de información en una base de datos PostgreSQL. Aunado se cuenta con herramientas frontend desarrolladas con JavaScript (Jquery, Bootstrap), JSON, HTML5 y CSS3 para la visualización y despliegue de información.

Existen tres tipos de usuarios para la plataforma IMT SIMonitorem que son “Desarrollador”, “Administrador” y “Consumidor”. El “Desarrollador” se encarga de toda la programación, actualización y manejo de la plataforma. El “Administrador” tiene como función la configuración del software y hardware, donde se manipula la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. Aunado a estos usuarios está el “Consumidor”, que es el usuario final que recibe y visualiza la información.

7.1.1 Requisitos funcionales IMT SIMonitorem para el puente Mezcala.

A continuación, se listan las funciones con las que se programó e integró la plataforma IMT SIMonitorem para el puente Mezcala:

Tabla 7.1 Requisitos funcionales IMT SIMonitorem puente Mezcala

Identificación del requerimiento	Nombre del Requerimiento	Características	Descripción del requerimiento
RF01	Automatización del proceso de adquisición de señales	Establecer un protocolo de comunicación entre el sistema de adquisición de señales y la computadora.	El sistema permitirá al Administrador configurar y gestionar la comunicación entre el sistema de adquisición de señales y la computadora. Además, se podrán actualizar y modificar parámetros de adquisición (Ganancias, límites, constantes, velocidad de muestreo, etc.).
RF02	Procesamiento de Señales	Con la automatización del proceso de adquisición de señales, el sistema será capaz de procesar dichas señales para identificarlas y clasificarlas según su tipo (aceleración, inclinación, deformación, temperatura y desplazamiento) y nombre de sensor.	El administrador vinculara las señales con los sensores; posteriormente configura ganancias y demás parámetros correspondientes a cada sensor
RF03	Procesamiento de señales	Extracción de información relevante de los datos del sistema de monitoreo estructural.	Procesar señales para calcular Cambios de referencia: A partir de las señales de los sensores de deformación identificar el cambio drástico y permanente de deformación ocasionado por el paso vehicular que se caracterice por no tener una recuperación en la magnitud al paso de dicho vehículo.

RF04	Procesamiento de señales	Una vez clasificadas e identificadas las señales el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.	Procesar señales para calcular tensiones: A partir de las señales de los sensores de aceleración instalados en los tirantes del puente calcular la tensión utilizando la metodología de cuerdas vibrantes [].
RF05	Procesamiento de señales	Una vez clasificadas e identificadas las señales el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.	Procesar señales para calcular picos: A partir de las señales de los sensores de deformación identificar el cambio drástico de deformación ocasionado por el paso vehicular que se caracterice por tener una recuperación en la magnitud al paso de dicho vehículo y que además rebase un umbral de deformación.
RF06	Procesamiento de señales	Una vez clasificadas e identificadas las señales el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.	Procesar señales para calcular datos aleatorios: Identificar 12 eventos aleatorios al día con una duración de 4 minutos
RF07	Procesamiento de señales	Una vez clasificadas e identificadas las señales el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.	Procesar señales para identificar la ausencia de tráfico vehicular
RF08	Almacenamiento	El Developer diseñará y estructurará una base de datos que permita guardar, consultar y eliminar información recolectada y procesada por el sistema.	Se almacenará en una base de datos postgres la información del monitoreo del Puente Mezcala: Cambios de referencia, Tensiones, Picos, Datos Aleatorios, Ausencia de tráfico vehicular; A demás de datos generales del puente y los sensores.

RF09	Publicar	El usuario "Requester Human" podrá consumir información del monitoreo mediante <i>Web-services</i> en formato JSON	La plataforma publicará datos aleatorios representativos del monitoreo del Puente Mezcala mediante el consumo de recursos informáticos (<i>Web-Services</i> en formato JSON). Pensado en la escalabilidad del sistema y el monitoreo remoto en tiempo real.
RF10	Publicar	El <i>Developer</i> diseñara interfaces WEB para visualizar datos representativos.	Diseñar e implementar interfaces que permitían al <i>Requester Human</i> visualizar señales e información en tiempo real. Los datos serán consumidos directamente del <i>web services</i> en formato JSON y desplegados mediante interfaces HTML.

7.2 Diseño

Teniendo identificados los requisitos funcionales del software el siguiente paso es el diseño y utilización de los algoritmos existentes. A continuación, se muestra un diagrama de diseño de arquitectura de alto nivel del sistema, en donde se identifican los módulos relevantes que definen al software según los requisitos funcionales.

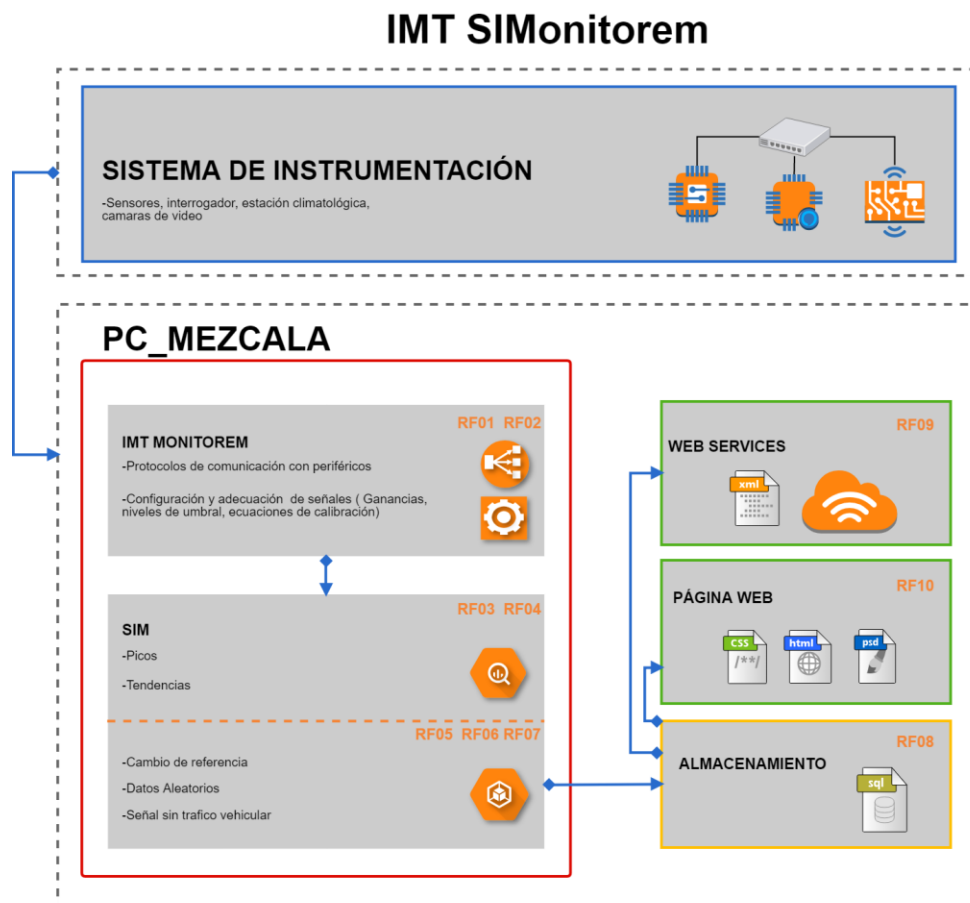


Figura 7.1. Diseño esquemático de IMT SIMonitorem en el puente Mezcala

Se describe el proceso general de IMT SIMonitorem.

Adquisición:

El interrogador, a través de la fibra óptica, recaba las señales de la red de sensores FBG del puente Mezcala éste, a su vez, se comunica por Ethernet a la computadora local del puente.

En la computadora se encuentra el software IMT SIMonitorem, de primera instancia establece una comunicación TCP/IP con el interrogador para solicitar un espectro óptico por canal del interrogador en donde se manipularán las ganancias y niveles de umbral para encontrar e identificar los picos típicos de un sensor FBG. Teniendo identificado cada uno de los picos FBG es necesario aplicar una ecuación de calibración típica de cada tipo de transductor para obtener los datos relacionados con el monitoreo.

Estas dos funciones son características de la plataforma ya desarrollada IMT Monitorem.

De los datos provenientes de los transductores se hace un procesamiento simultáneo de 5 rutinas (las primeras dos representativas de la plataforma SIM).

Detección de picos: Corresponde al monitoreo continuo de los extensómetros colocados en el puente se evalúan las mediciones directas de los sensores y se compara con los límites normales de operación. Cuando ocurre un evento atípico, se almacena en una base de datos local. El programa guarda un bloque de datos, que incluyen la señal de todos los sensores.

Calculo de tenciones: Cada 2 minutos de adquisición de se almacena el cálculo de la tensión de los tirantes instrumentados utilizando los acelerómetros FBG instalados en el puente Mezcala.

Detección de cambio de referencia: Para calcular el cambio de referencia (deformación permanente o semipermanente) provocado por carga viva se diseñó un algoritmo el cual lee todos los sensores de deformación en una memoria temporal, si alguno de los valores en la memoria temporal rebasa un umbral de deformación predefinido y este valor no regresa al estado previo en el periodo de tiempo establecido se genera una alarma por cambio de referencia que indica un cambio permanente o semipermanente de deformación en el sensor, almacenando toda la información de los sensores.

Detectar y almacenar datos sin tráfico vehicular: De los datos provenientes de los extensómetros de fibra óptica se fija un umbral de operación sin tráfico vehicular que caracteriza al puente sin carga viva. Una vez que se detecta la inactividad por un periodo de tiempo corto, dispara una bandera de almacenamiento de datos en todos los sensores y deja de guardar hasta que se detecte actividad en alguno de los sensores.

Guardar aleatoriamente: Con el fin de obtener una muestra representativa para futuros estudios se almacenará la información de todos los sensores de manera aleatoria, guardando 4 minutos en 12 eventos diarios a una hora aleatoria.

7.3 Diseño de Base de datos

7.3.1 Selección de software

A partir de la revisión de los datos que deben ser ingresados en la base de datos y de los requisitos de acceso a los datos, se identificaron varios criterios que el software de la base de datos debe cumplir. Los requisitos mínimos para el software son:

1. Debe soportar el modelo de base de datos relacional y alguna versión del lenguaje SQL. Éste es un estándar de la industria y dado que este programa se extiende a varios países y durará varios años, la adhesión a este estándar garantizará la longevidad y portabilidad de la base de datos. Además, la mayor parte de los administradores de bases de datos están familiarizados con alguna versión de SQL y de bases de datos relacionales y, por lo tanto, la capacitación de un administrador será relativamente fácil.
2. Se debe permitir que múltiples usuarios tengan acceso a las tablas simultáneamente.
3. Permitir que se ejecuten scripts SQL almacenados. Hay muchos procesos que se pueden automatizar con scripts almacenados a fin de facilitar el manejo, las actualizaciones, la edición y las consultas de la base de datos. Es mucho más fácil y eficiente llamar y ejecutar un script almacenado que tratar de codificar toda la información en otro formato.
4. Permitir restricciones en los valores de los datos ingresados en las columnas dentro de la tabla. Poder restringir los datos a ciertos rangos o valores reducirá los errores posibles en el ingreso de datos.
5. Permitir la creación de múltiples índices sobre una tabla, así como índices únicos dentro de una tabla. También debe poder crear un índice en múltiples columnas. Los índices múltiples sobre una tabla permiten clasificaciones y consultas más rápidas basadas en varios parámetros. La creación de un índice único entre múltiples columnas prevendrá el ingreso de datos duplicados.

6. Permitir la creación de vistas de datos. Esto permite almacenar una mínima cantidad de datos y crear una cantidad de salidas (*outputs*) virtualmente ilimitada. Las vistas permiten la exhibición de los valores calculados, sin tener que crear columnas adicionales en las tablas de datos y tener que poblarlas con valores calculados. Las columnas adicionales pueden crear conflictos entre los datos dentro de un registro de una tabla de datos. Además, las vistas permiten que se unan múltiples tablas para proveer una vista adaptada de los datos en la tabla de datos.

7. Permitir combinaciones (*joins*) internas, combinaciones externas por la izquierda, combinaciones externas por la derecha, combinaciones externas completas y múltiples combinaciones dentro de una consulta. Las combinaciones son maneras diferentes de seleccionar ítems de una o más tablas, ya sea en una consulta o en una vista. Las combinaciones internas seleccionan sólo los registros que existen en ambas tablas y establecen las correspondencias. La combinación externa por la izquierda selecciona todos los registros de la tabla de la izquierda y sólo los registros que corresponden de la tabla de la derecha. La combinación externa por la derecha selecciona todos los registros de la tabla de la derecha y sólo los registros que corresponden de la tabla de la izquierda. La combinación externa completa selecciona todos los registros tanto de la tabla de la izquierda como de la derecha y combina los registros que se corresponden. Los registros que no tienen correspondiente se combinan con valores nulos.

11. Debe poder ejecutarse en un sistema Windows.

A partir de estos requisitos, se examinaron los siguientes softwares adecuados: Oracle, Informix, SQLServer y PostgreSQL. Todos estos productos cumplían con los requisitos mencionados anteriormente. PostgreSQL ofrecía la mejor combinación de rendimiento y precio de los softwares examinados. Con base en una investigación de la literatura relacionada con la informática, PostgreSQL parecía servir los datos en la red tan rápido o casi tan rápido como cualquiera de los otros productos. Además, dado que es un programa de código abierto, no hay un gasto inicial para adquirir el software. Se eligió PostgreSQL como el software para ser usado en este proyecto con base en su costo y su rendimiento. Luego de la selección del programa para la base de datos y del sistema operativo, el servidor web y el lenguaje para programar scripts del lado del servidor fueron por defecto el servidor web Apache y el lenguaje JavaScript. Ésta es la mejor combinación que soporta Windows y PostgreSQL.

7.3.2 Estructuración de la base de datos.

El primer paso en el diseño de la base de datos fue analizar los datos que se recolectarían y determinar el uso que se pensaba hacer de los mismos. Para mayor consistencia, cada grupo de datos se define como una tabla de datos. La estructura final de la base de datos se representa en el siguiente diagrama, aunado al diagrama en el Anexo 2 se encuentra la estructura y tipo de datos de cada tabla, así como sus elementos.

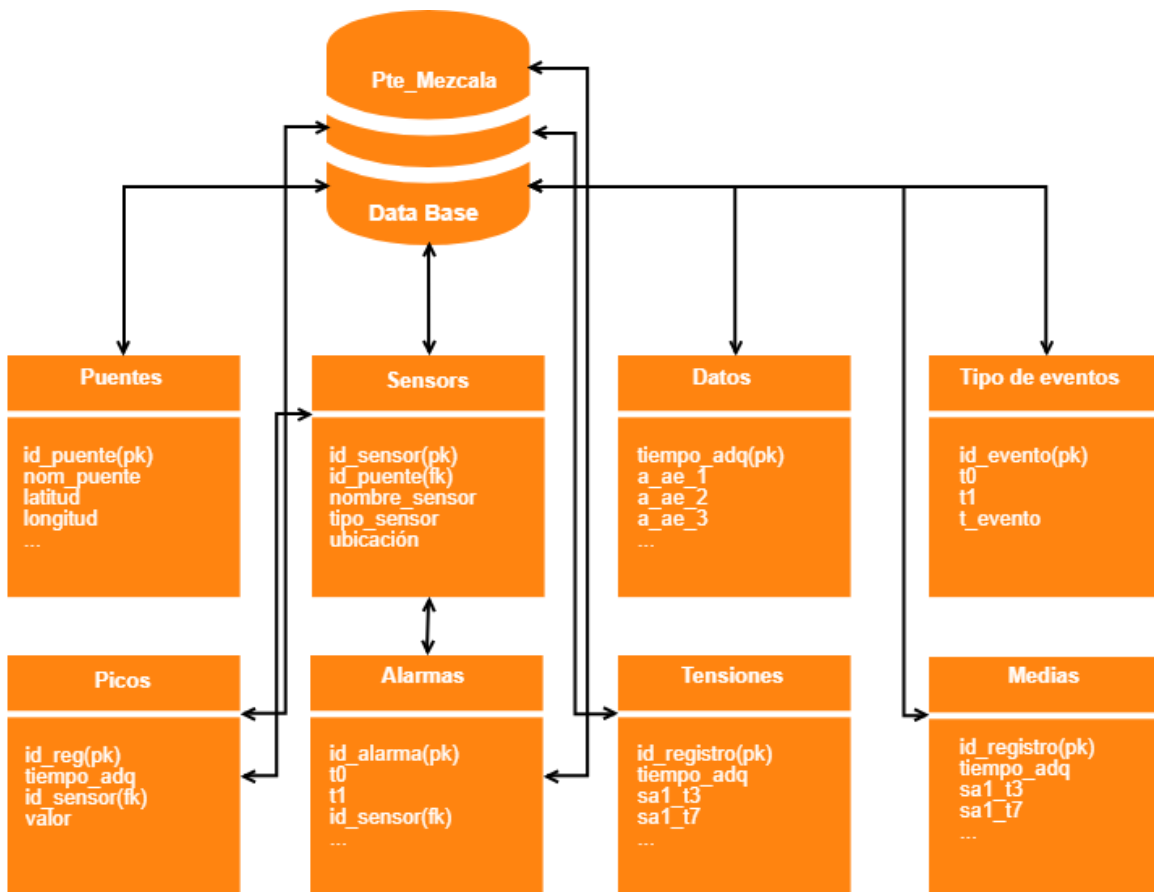


Figura 7.2. Diagrama Entidad Relación de la base de datos

7.3.3 Tablas de la Base de Datos

1.- Tabla sensores. Almacena un inventario de sensores instalados en el puente que incluye diferentes características como el nombre, lugar de instrumentación, tipo de sensor, etc.

2.- Tabla datos. Almacena los valores pertinentes de cada uno de los sensores del puente. Estos datos se guardan por diferentes condiciones pueden ser cuando se registre un evento atípico como un pico cambio de referencia. También se almacenan datos cuando el puente está sin cargas vivas o cuando se almacenan una muestra aleatoria de datos.

3.- Tabla tipo de eventos. Esta tabla sirve para relacionar un evento vs tiempo a fin de almacenar e identificar comportamientos atípicos del puente. Los tipos de evento son: Cambio de referencia, vehículos detenidos, libre de tráfico, inicio de almacenamiento de datos aleatorios.

4.- Tabla Alarmas. Esta tabla representa un histórico de alarmas generadas en tiempo real por el SIMonitorem. Se visualizarán en tiempo real a través del micrositio.

5.- Tabla Tensiones. Almacena el resultado de un análisis para conocer las tensiones y caracterizar distintos escenarios de carga en el puente. Este análisis permite identificar el momento en que pasa un camión pesado, cuando no hay tráfico o si se ha agregado masa al puente debido a labores de mantenimiento como reencarpetamiento.

6.- Medias. Esta tabla almacena el cálculo de medias estadísticas de todos los sensores cada determinado tiempo.

7.4 Visualización de datos – Página WEB

Con el fin de tener una interfaz limpia y amigable para el usuario final y, además de planear un enlace remoto por internet en la plataforma IMT SIMonitorem, se desarrolló un micro-sitio web para el puente Mezcala. Se planeó el siguiente mapa de sitio (Figura 7.3): Está conformado por nueve páginas web desarrolladas en HTML y JavaScript. La página principal es una página de bienvenida que, a su vez enlaza, a la página del sitio web del puente. Para poder ver los datos del puente en tiempo real se dividió el puente en siete zonas de instrumentación.

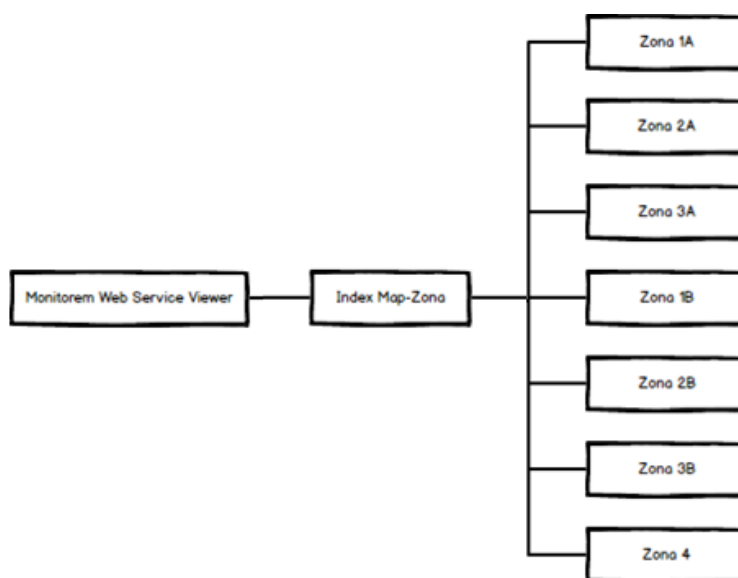


Figura 7.3. Mapa del sitio de IMT SIMonitorem en el puente Mezcala

La estrategia de la división de las zonas para la página web está de la siguiente manera: Primero se dividió el puente en dos, considerando un eje imaginario longitudinal a lo largo del puente que corresponde al cuerpo A y B de la autopista. Cada cuerpo se dividió en tres, considerando cada arpa del puente, la primera arpa corresponde al lado Cuernavaca, la segunda es el arpa central y, por último, la tercer arpa lado Acapulco como se muestra en los diagramas de las figuras 7.4 y 7.5. Considerando la cantidad de sensores por zona se agregó una extra, que corresponde a los sensores ubicados en pila central (Figura 7.6).

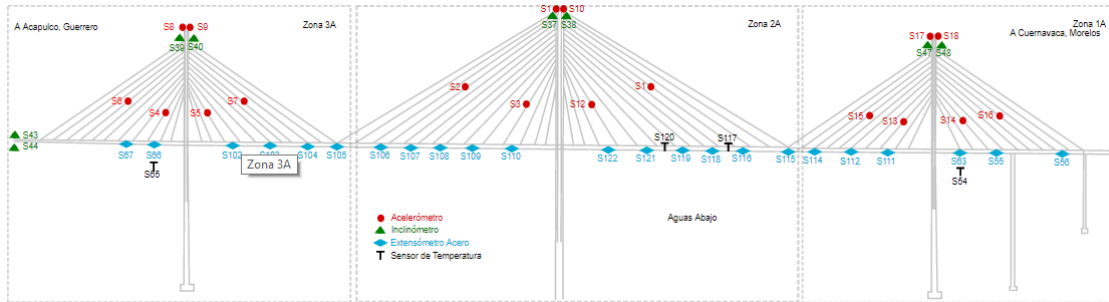


Figura 7.4. Diagrama de instrumentación de zonas 1A, 2A y 3A

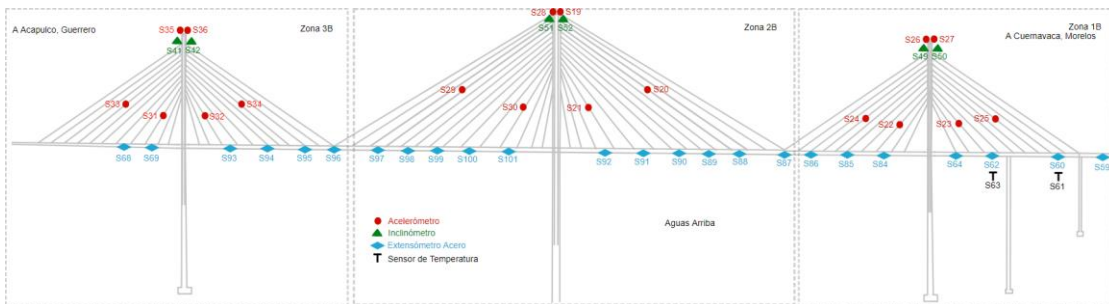


Figura 7.5. Diagrama de instrumentación de las zonas 1B, 2B y 3B

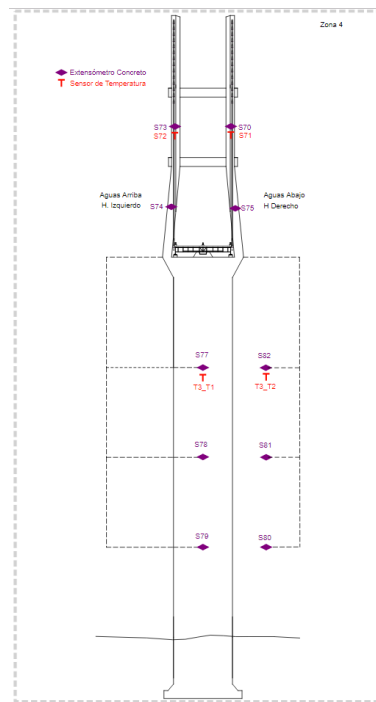


Figura 7.6. Diagrama de instrumentación de las zonas 4

La página de bienvenida del sitio se diseñó con la finalidad de mostrar información relevante del CMPEI además de las características y ubicación del puente Mezcala. Aunado se diseñó la página de visualización de datos en tiempo real para cada una de las zonas de instrumentación antes dichas, para lo cual se utilizó la siguiente convención de indicadores gráficos: extensómetros, gráficas de línea en el tiempo y, para los acelerómetros, inclinómetros y de termómetros se utilizaron indicadores de carátula con niveles de operación (Figura 7.7).

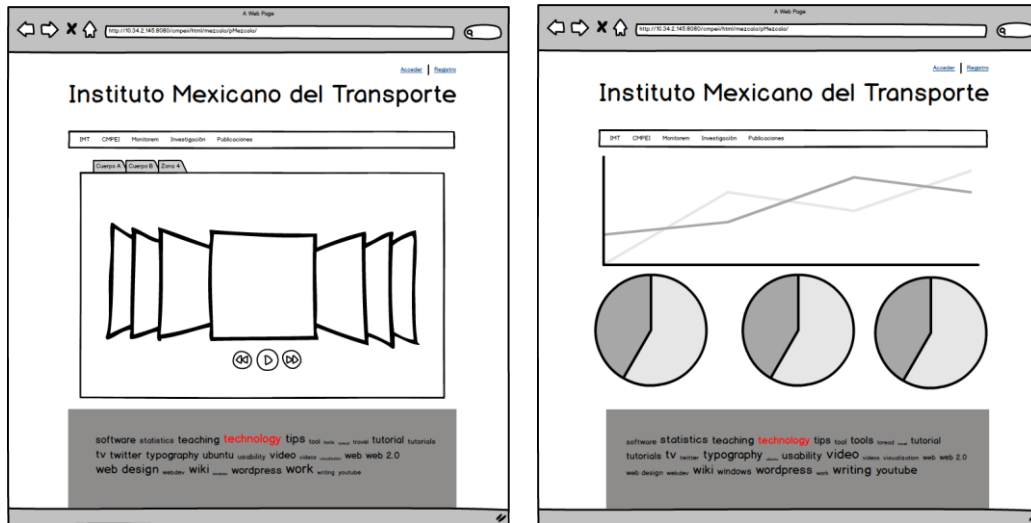


Figura 7.7. Diseño conceptual de las páginas WEB del sitio Mezcala. Izquierda Página de bienvenida y zonas, derecha página de visualización de datos en tiempo real

7.5 Web Services.

Para la transferencia de datos entre IMT SIMonitorem desarrollada en *Labview* se implementaron *Web Services* que son una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares, los cuales sirven para intercambiar información entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software, desarrolladas en lenguajes de programación diferentes y ejecutadas sobre cualquier plataforma interactúan mediante *Web Services*.

Para transferencias de datos se usó *JSON*, que es un formato de intercambio ligero y estandarizado que, al igual que el *XML*, puede ser leído fácilmente independientemente de la plataforma o lenguaje de programación.

Para entender más el etiquetado de transmisión se muestra el siguiente ejemplo de cómo recibe los datos el servidor web para convertirlos en gráficas:

```
{"zona_1a":  
{  
  "A_EA_1": -1.228000044822693, "A_EA_2": 0, "A_EA_3": 0.2010000050067902, "A_EA_4": 0, "A_EA_5": 0.303  
9999902248383, "A_EA_6": 0.4429999887943268, "A_EA_7": -0.02300000004470348, "A_EA_8": 0.0260000005  
364418, "SA1_T3": 0, "SA1_T7": 0, "SA2_T3": 0, "SA2_T7": 0, "A_T4_A_L": 0, "A_T4_A_T": 0, "A_T4_I_L": -0.01  
899999938905239, "A_T4_I_T": 0.03799999877810478, "A_T_1": 0, "A_T_2": -0.002000000094994903, "D_1":  
-0.02700000070035458, "TimeStamp": "2017-06-01T05:48:32.496Z"}  
}
```

Figura 7.8. Web Service de ejemplo de la zona 1A

- 1) IMT SIMonitorem escribe los datos en un puerto de red específico en formato JSON (Figura 7.8) en todo momento del análisis de la información
- 2) El usuario entra a la dirección de la página web de alguna de las zonas de instrumentación e inmediatamente después lee el puerto de red donde IMT SIMonitorem está publicando la información.
- 3) El explorador web lee el *WEB Service* y alimenta las librerías de Google Charts para graficar y transformar los datos en una imagen entendible a cualquier persona (Figura 7.9).

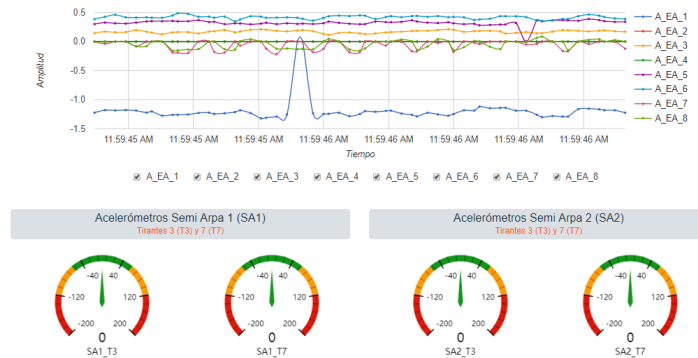


Figura 7.9. Gráficas de las librerías Google Charts para el sitio web del puente Mezcala

8 Plataforma IMT SIMonitorem Puente Mezcala

La etapa final del proyecto es la puesta en marcha de los diferentes algoritmos de software ya desarrollados. El corazón del IMT SIMonitorem es la aplicación de adquisición y procesamiento de datos, desarrollada en LabVIEW (Figura 8.1). Como ya se mencionó, esta aplicación es la fusión de IMT Monitorem y SIM que cumple bastante el análisis de requisito de funciones ya mencionado anteriormente.

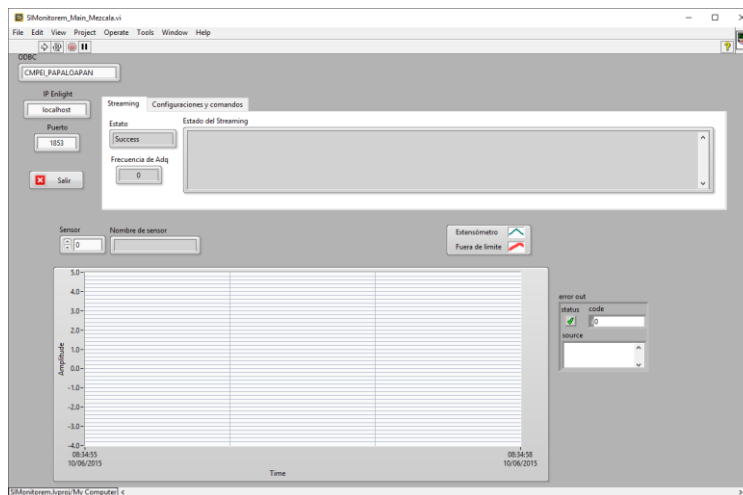


Figura 8.1. IMT SIMonitorem del puente Mezcala

La implementación del sitio WEB que corre en la misma PC del puente solo es de acceso local por las limitantes de comunicación entre el puente y el CMPEI; a continuación, se muestran capturas de pantalla del sitio y de la aplicación en funcionamiento.

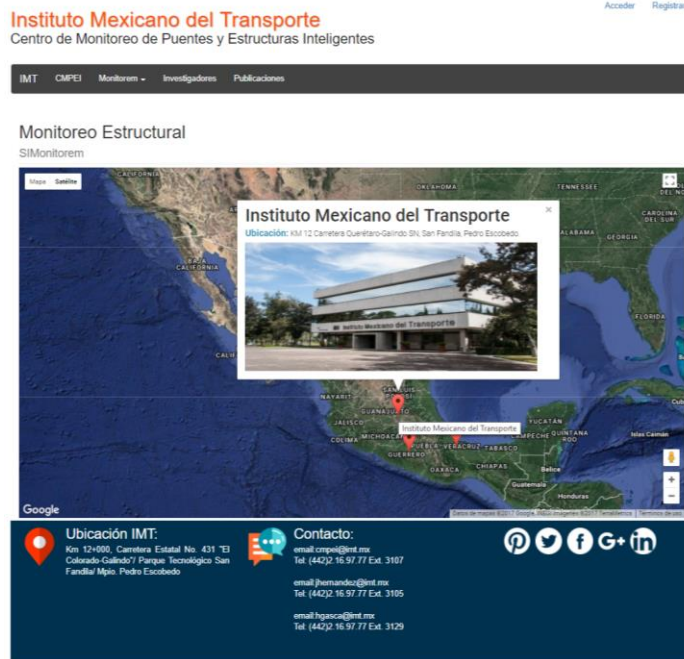


Figura 8.2. Página de bienvenida del sitio web del puente Mezcala

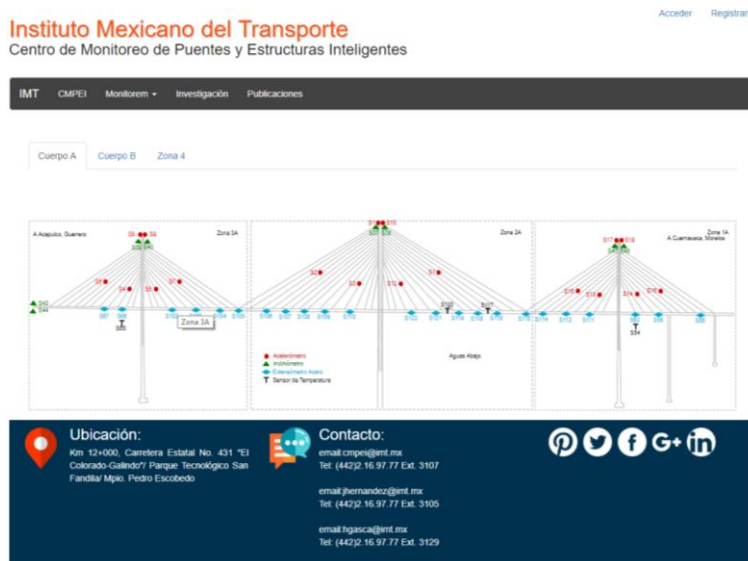


Figura 8.3. Página de índice de zonas según el diagrama de instrumentación

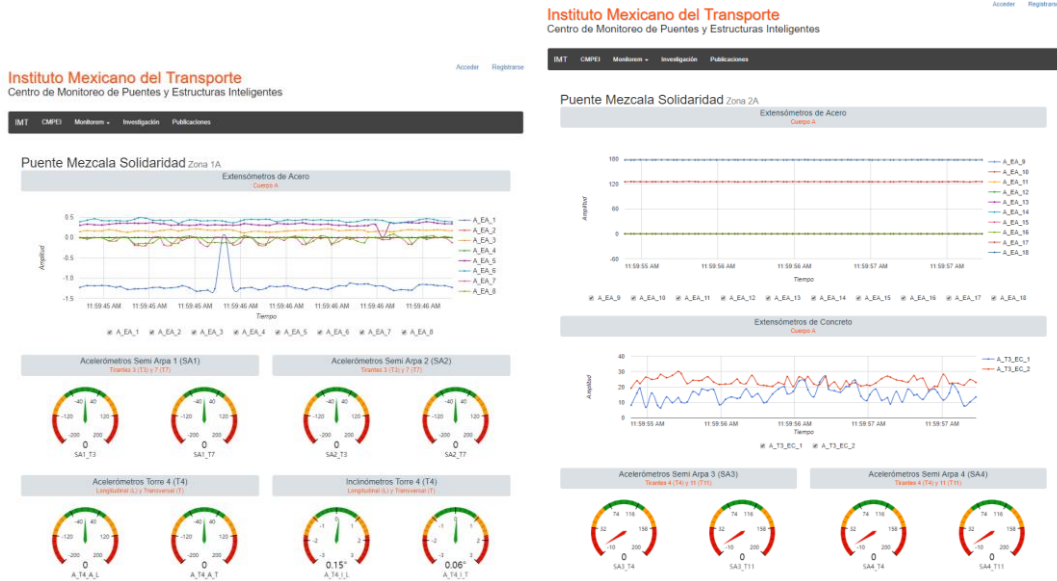


Figura 8.4. Página de visualización de señales de las zonas 1A y 2A

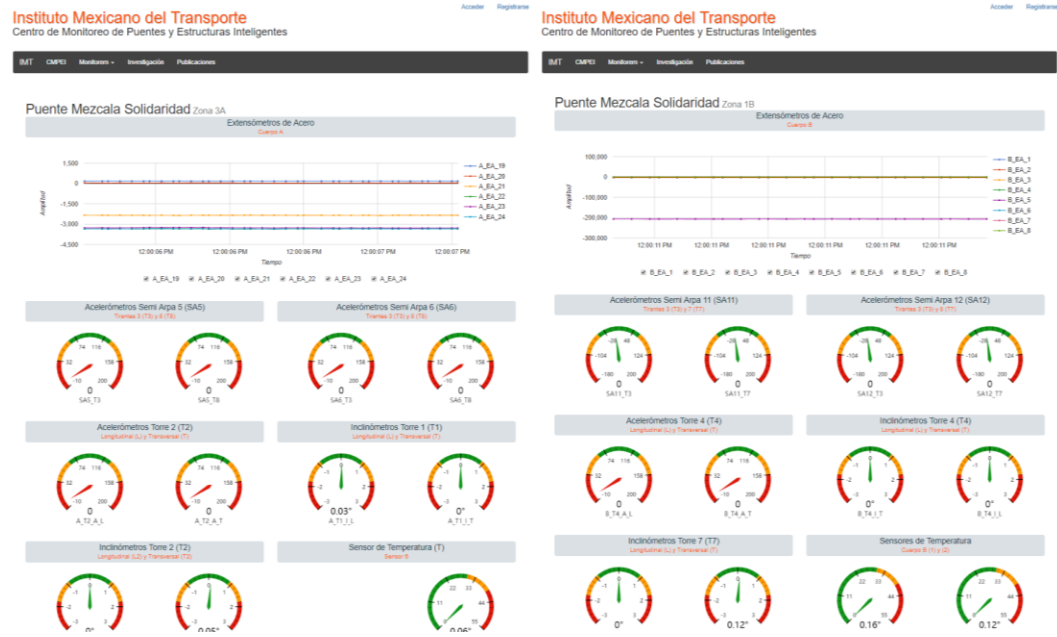


Figura 8.5. Página de visualización de señales de las zonas 3A y 1B

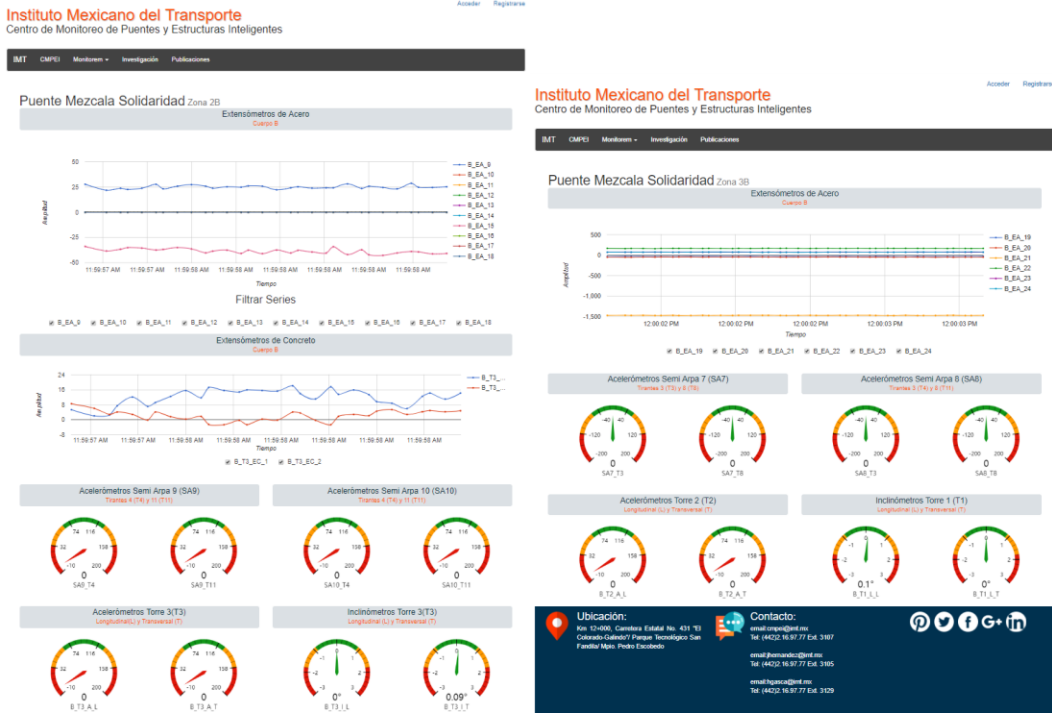


Figura 8.6. Página de visualización de señales de las zonas 2B y 3B

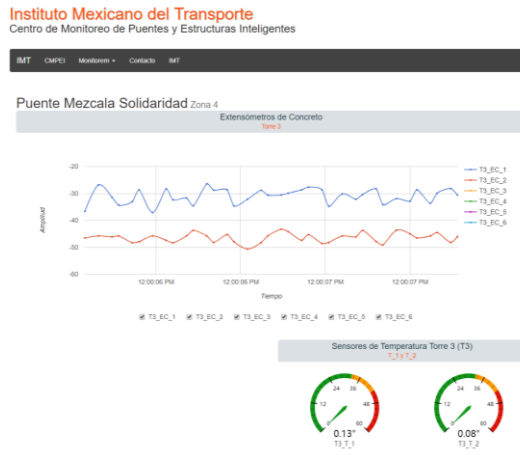


Figura 8.7. Página de visualización de señales de la zona 4

9 Conclusiones

La fusión y la implementación de las herramientas con las que contaba el CMPEI (IMT Monitorem y el SIM) para el puente Mezcala, generó una nueva y mejorada versión de la plataforma (IMT SIMonitorem), la cual está hecha a la medida del puente. Dicha plataforma está desarrollada para la adquisición de señales de los sensores de fibra óptica FBG instalados en el puente Mezcala. Así como el procesamiento e identificación de eventos críticos que puedan tener inferencia en la condición estructural del puente.

El software fue desarrollado en diferentes lenguajes de programación. Cabe mencionar que las plataformas IMT Monitorem y SIM ya se habían desarrollado con anterioridad en LabView y que esta plataforma de desarrollo facilitó la fusión de dichas plataformas en una sola para el puente Mezcala.

Una de las nuevas características que se introdujeron a la plataforma es la gestión y almacenamiento de información en base de datos SQL. Esta nueva característica facilita la búsqueda de información relevante que se genere, además de proporcionar herramientas futuras para la minería de datos.

Además de la gestión de datos, para el puente Mezcala se introdujeron nuevas tecnologías emergentes en el sector de la informática, como es la visualización y comunicación WEB. Para dicha visualización se utilizaron diferentes lenguajes de programación como son HTML y JavaScript. Estos lenguajes permiten crear una interfaz más organizada y amigable para el usuario final, además de que en un futuro ayudarán a crear un enlace remoto en cualquier parte del mundo gracias al Internet.

Todas estas ventajas permiten a la plataforma poder ser mejorada en cualquier momento. Es decir, agregar nuevas funciones o crear mejoras en las existentes. Ya que el uso y la evolución de estos lenguajes se actualiza día a día.

Uno de los inconvenientes que cuenta la plataforma, actualmente, es la problemática de comunicación con el exterior; todo se diseñó para que se ejecutara localmente y se pudiera consultar a través de la utilización de escritorios remotos como TeamViewer, aunque se podría considerar una desventaja, ésta es fácil de solucionar agregando nuevos módulos de comunicación VPN por internet y así dar acceso a cualquier parte del mundo.

Bibliografía

- [1][4] S. Crespo, J. Hernandez, F. Carrión, J. Quintana, D. Rodriguez and H. Gasca, "Plataforma para el análisis y visualización de señales para el monitoreo remoto de estructuras", Instituto Mexicano del Transporte, vol. 415, 2014.
- [2][5] A. Martínez, J. Quintana, B. Arroyo, F. Carrión, S. Crespo, J. Hernandez, V. Bonilla, H. Gasca and A. Hernandez, "Sistema Inteligente y protocolos de actuación para monitoreo remoto de puentes", Instituto Mexicano del Transporte, vol. 464, 2016.
- [3] Servicio Sismológico Nacional, <http://www.ssn.unam.mx/>
- [4] Carrión, F., Quintana, J., López, A., Gutiérrez, A., "Diseño y estrategia para un centro de monitoreo de puentes y estructuras inteligentes de México", NOTAS Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro, México, No 132, pp. 02. 2011.
- [5] Quintana, J. A., Samayoa, D., Carrión, F. J., Hernández, A., Crespo, S. E. y López, A. "Análisis del Método de Búsqueda Global para la detección de daño y monitoreo estructural de puentes", Publicación Técnica del IMT, Querétaro, México, No. 367, pp. 1-136, 2012.
- [6] Quintana, J. A., Carrión, F. J., Crespo, S. E. y Rodriguez, D., "Estrategias de evaluación y análisis del monitoreo del puente Río Papaloapan", XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Jalisco, México, Vol. 14 (1), pp. 1-10, 2013.
- [7] Quintana J. A., Crespo S., Hernández J., Gasca H. y Martínez L. A. *Implementación del sistema de monitoreo del Puente Mezcala*. IMT-Nota N° 165. Sanfandila, Qro. 2017.
- [8] Carrión, F., *Instrumentación y configuración del sistema de monitoreo del puente Mezcala*. Reporte de proyecto EE 41/15: Instituto Mexicano del Transporte, México, septiembre 2016.
- [9] "La Instrumentación Virtual," National Instrument. 2003. [En línea]. Recuperado de: <http://www.tracnova.com/tracnovapub/La%20Instrumentaci%F3n%20Virtual>

Anexo 1. Especificación de requisitos de software

Especificación de requisitos de software

Proyecto: EI 06/17: INTEGRACION E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA “IMT MONITOREM” EN EL PUENTE MEZCALA



1 Introducción

Este documento es una Especificación de Requisitos de Software (ERS) para la integración de los algoritmos a desarrollar del SIM (Sistema Inteligente de Monitoreo) y la implementación de la plataforma “IMT Monitorem” en el puente Mezcala, lo cual permitirá la adquisición de señales del sistema de instrumentación del puente, procesamiento de datos, gestión de información y visualización de datos vía WEB.

1.1 Propósito

El presente documento tiene como propósito definir las especificaciones funcionales y no funcionales que deben ser consideradas por los programadores al diseñar y programar la plataforma IMT SIMonitorem, la cual se instalará en el puente Mezcala.

1.2 Alcance

SIMonitorem será un conjunto de herramientas de software que recolectarán, procesarán, almacenarán y publicarán de manera remota la información obtenida por el sistema de monitoreo instalado en el puente Mezcala.

1.3 Personal Involucrado.

Nombre	Jorge Alberto Hernández Figueroa
Rol	Programador
Categoría Profesional	Analista y desarrollador
Responsabilidades	Programar <i>backend</i> , diseño de interfaces, desarrollo de protocolos de comunicación (Hardware), programación de análisis estadísticos y reportes
Contacto	jhernandez@imt.mx

Nombre	Héctor Miguel Gasca Zamora
Rol	Programador
Categoría Profesional	Desarrollador y Tester
Responsabilidades	Programar frontend, diseño de interfaces, pruebas generales al sistema
Contacto	hgasca@imt.mx

Nombre	Luis Álvaro Martínez Trujano
Rol	Supervisor y revisor
Categoría Profesional	Desarrollador
Responsabilidades	Diseñar y programar el módulo de análisis estadísticos, pruebas funcionales.
Contacto	amartinez@imt.mx

1.4 Definiciones

<i>IMT Monitorem</i>	Plataforma para la adquisición de señales para sistema de instrumentación de fibra óptica de tecnología FBG, basados en los interrogadores SM130 de Micron Optics
<i>IMT SIMonitorem</i>	Plataforma para el procesamiento de datos (cálculo de tensiones en tirantes, alarmas, reportes, etc.)
<i>Javascript</i>	Lenguaje de programación frontend para el desarrollo de páginas WEB
<i>HTML</i>	Lenguaje para establecer la estructura y contenido de una página WEB
<i>CSS</i>	Lenguaje para establecer los estilos de las páginas WEB
<i>JSON</i>	Lenguaje de notación de datos
<i>Web Services</i>	Tecnología que usa protocolos de comunicación la cual tiene como finalidad intercambiar información
<i>Requester Human</i>	Consumidor de <i>WEB Services</i>

2 Descripción general

2.1 Perspectiva del producto

El sistema IMT SIMonitorem será una plataforma diseñada para trabajar con sistemas operativos Windows, con herramientas *backend* para la adquisición y procesamiento de señales desarrolladas en LabVIEW, que permitirán el almacenamiento de información en una base de datos PostgreSQL. Aunado se contarán con herramientas *frontend*, desarrolladas con JavaScript (Jquery, Bootstrap), JSON, HTML5 y CSS3; para la visualización y despliegue de información.

2.2 Funcionalidad del producto

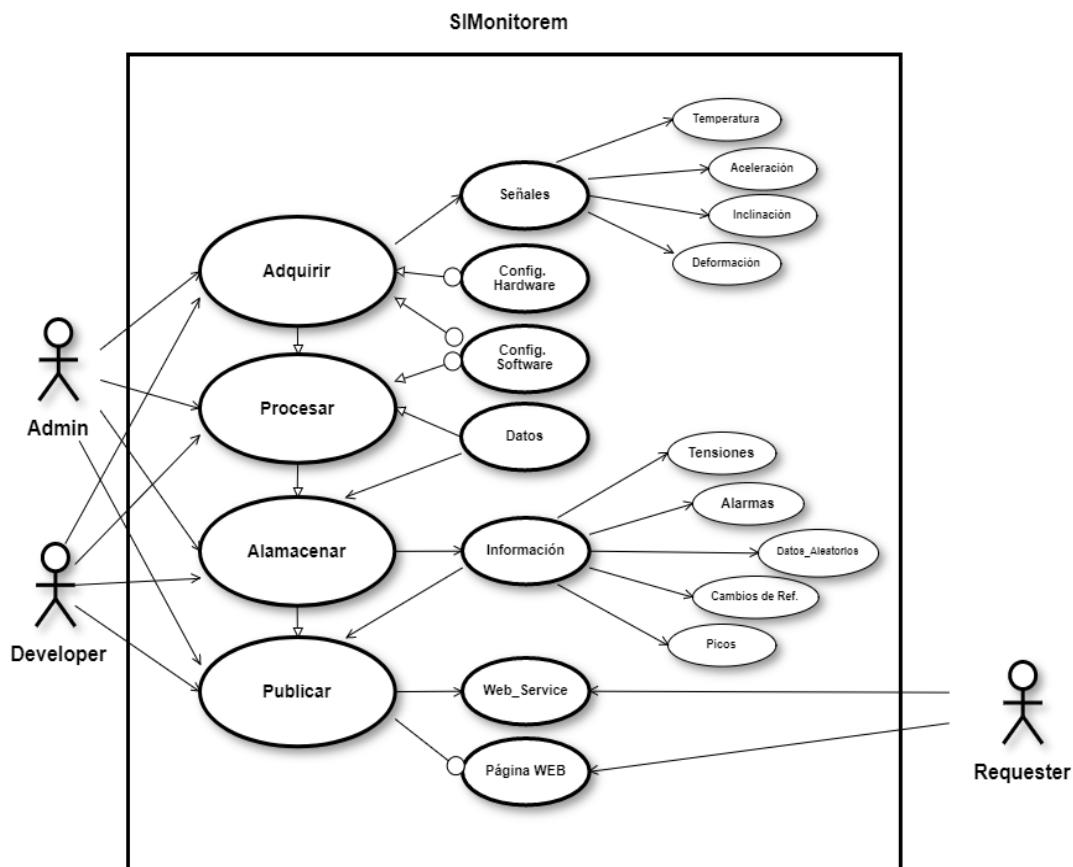


Figura 1. Tareas principales del sistema.

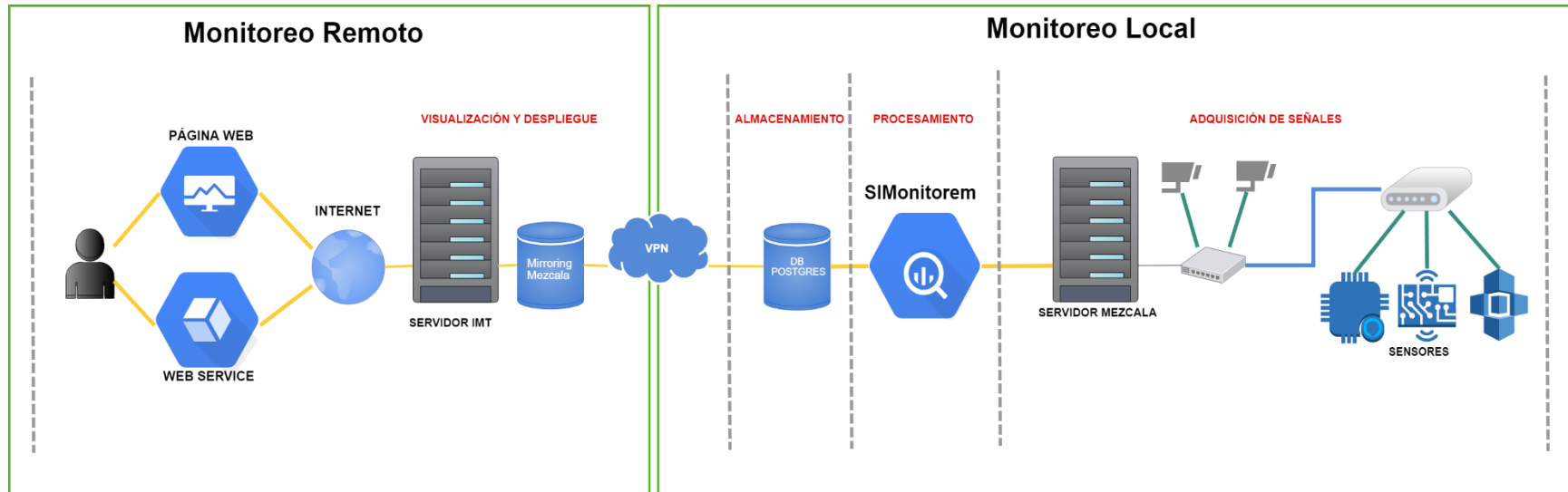


Figura 2. Esquema funcional (Entorno Cliente-Servidor).

2.3 Características de los usuarios

Tipo de usuario	Desarrollador
Formación	Informática, sistemas electrónicos, mecatrónica
Actividades	Programación, actualización y manejo de la plataforma

Tipo de usuario	Administrador
Formación	Mecatrónica
Actividades	Configuración de software y hardware, adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos.

Tipo de usuario	Consumidor
Formación	No aplica
Actividades	Visualizar y consumir <i>web services</i> de datos significativos

2.4 Restricciones

- Lenguajes y tecnologías en uso: LabVIEW 2012, PostgreSQL, HTML 5, JavaScript, Bootstrap 3, JSON, Google Charts, Echarts, *Web services*, CSS3.
- La adquisición de señales y el despliegue de información se diseñará en un entorno cliente/servidor.
- El sistema se ejecutará en sistemas operativos Windows de 64 bits (Windows 7 o superior).
- Computadora (equipo de adquisición) procesador Intel i5 tercera generación o superior, 8 GB de memoria RAM, 1 TB de disco duro y 1 GB de tarjeta de gráficos.
- Para poder desplegar el monitoreo remoto, se deberá contar con una conexión a internet estable, superior a 2 MB simétricos. Adicional, se debe contar con la última actualización de *Team Viewer*, así como del navegador de internet (preferente Google Chrome, Mozilla Firefox u Opera).

2.5 Suposiciones y dependencias

- Los equipos en los que se va ejecutar el sistema deben cumplir los requisitos indicados para garantizar una correcta ejecución de la misma.
- El sistema de instrumentación funciona correctamente.
- Sistema de suministro eléctrico activo "24/7".
- No afecciones a los sistemas informáticos por cuestiones climatológicas.
- El Departamento de Telemática, del Instituto Mexicano del Transporte, proporcionará los recursos tecnológicos y de personal para configurar un servidor web. También deberán hacer las configuraciones necesarias para publicar un sitio en internet.

3 Requisitos específicos

3.1 Requisitos comunes de las interfaces

3.1.1 Interfaces de usuario

De Administrador y Desarrollador. Las interfaces a este nivel son informativas; es decir, indicarán estados de tareas, procesos y configuraciones. Puesto en marcha el sistema es autónomo. Cualquier modificación deberá ser directamente a código.

Requester Human. Éste es el usuario final. Las interfaces a este nivel deberán ser visualmente atractivas. Serán interfaces *responsive design* que se desplegarán a través de cualquier navegador web. Las *aplicaciones responsive design* tienen la particularidad de que se pueden desplegar prácticamente en cualquier dispositivo o resolución. Para un mejor desempeño de interfaces se visualizarán en pantallas con resolución mínima 768*1024 y máxima de 1920 x 1080.

El *framework responsive design* seleccionado es *Bootstrap* en su versión 3. Se ha elegido esta herramienta porque permite crear sitios de manera rápida y con estilos llamativos para el usuario final, además de que es fácil de aprender y existe mucho soporte y documentación en internet.

3.2 Interfaces de hardware

Para adquisición y procesamiento de señales:

- Computadora procesador Intel i5 tercera generación o similar, 8 GB de memoria RAM, 1 TB de disco duro, 1 GB de tarjeta de gráficos, 4 puertos ethernet o conectar un switch de comunicaciones.
- Interrogador de señales.
- Salida a Internet (banda ancha, un puerto ethernet con salida a internet, wireless).
- Sensores.
- Cámaras.

Para despliegue de información:

- Site (Hosting).
- Salida de internet.

Para visualizar:

- Computadora con procesador Dual Core (mínimo), 4 GB de RAM, 20 GB de almacenamiento libre (mínimo después de instalar el sistema operativo).
- Salida a Internet.

3.2.1 Interfaces de software

Para lograr el correcto funcionamiento del sistema, se requiere que la computadora instalada en el puente (*In situ*) tenga instalado y configurado las siguientes herramientas de software:

- Sistema Operativo: Windows 7 o superior de 64 bits.
- Run time de LabView 2012 64 bits.
- Enlight (Activar el Remote Command Interface).
- Orígenes de datos (<http://localhost/>).
- VPN (TeamViewer).
- Ejecutable de SIMonitorem.
- PostgreSQL.
- Antivirus.
- Filezilla Client.

A nivel de sistema operativo se deben desactivar las actualizaciones de Windows y configurar las "opciones de energía" para que en la computadora nunca se active el modo de reposo o hibernación.

En cuanto al servidor IMT se debe instalar:

- PostgreSQL (última versión).
- XAMP (Servidor Web apache).
- VPN (*TeamViewer*).
- Filezilla Server.

Respecto a la seguridad del servidor IMT, se basará en las políticas implementadas por el Departamento de Telemática del IMT.

3.2.2 Interfaces de comunicación

In Situ:

La computadora y el interrogador (equipo de adquisición de señales), se comunican a través del protocolo TCP-IP. La publicación de *web services* será por medio de peticiones HTTP. Los *web services* se visualizarán implementando

HTML y librerías de JQuery o con JavaScript, en un ambiente cliente-servidor. Este desarrollo de software se diseñará con estándares y protocolos web, para su posterior implementación y despliegue remoto.

3.3 Requisitos funcionales

3.3.1 Requisito funcional 1

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	Automatización del proceso de adquisición de señales.
Características:	Establecer un protocolo de comunicación entre el sistema de adquisición de señales y la computadora.
Descripción del requerimiento:	El sistema permitirá al Administrador, configurar y gestionar la comunicación entre el sistema de adquisición de señales y la computadora. Además, se podrán actualizar y modificar parámetros de adquisición (Ganancias, límites, constantes, velocidad de muestreo, etc.).
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF06
Prioridad del requerimiento:	Alta

3.3.2 Requisito funcional 2

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Con la automatización del proceso de adquisición de señales, el sistema será capaz de procesar dichas señales para identificarlas y clasificarlas según su tipo: aceleración, inclinación, deformación, temperatura y desplazamiento; así como nombre de sensor.
Descripción del requerimiento:	El administrador vinculará las señales con los sensores; posteriormente configurará ganancias y demás parámetros correspondientes a cada sensor.

Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF03 • RNF05 • RNF06
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.3 Requisito funcional 3

Identificación del requerimiento:	RF03
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Extracción de información relevante de los datos del sistema de monitoreo estructural.
Descripción del requerimiento:	Procesar señales para calcular "cambios de referencia": A partir de las señales de los sensores de deformación identificar el cambio drástico de deformación ocasionado por el paso vehicular que se caracterice por no tener una recuperación en la magnitud al paso de dicho vehículo.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF02 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.4 Requisito funcional 4

Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Una vez clasificadas e identificadas las señales, el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.

Descripción del requerimiento:	Procesar señales para calcular tensiones: A partir de las señales de los sensores de aceleración instalados en los tirantes del puente calcular la tensión utilizando la metodología de cuerdas vibrantes.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF02 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.5 Requisito funcional 5

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Una vez clasificadas e identificadas las señales, el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.
Descripción del requerimiento:	Procesar señales para calcular picos: A partir de las señales de los sensores de deformación identificar el cambio drástico de deformación ocasionado por el paso vehicular que se caracterice por tener una recuperación en la magnitud al paso de dicho vehículo y que, además, exceda un umbral de deformación preestablecido.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF02 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.6 Requisito funcional 6

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Una vez clasificadas e identificadas las señales, el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.
Descripción del requerimiento:	Procesar señales para calcular datos aleatorios: Identificar 12 eventos aleatorios al día con una duración de 4 minutos.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF02• RNF04• RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.7 Requisito funcional 7

Identificación del requerimiento:	RF07
Nombre del Requerimiento:	Procesamiento de señales
Características:	Una vez clasificadas e identificadas las señales, el sistema será capaz de identificar y calcular información relevante del sistema de monitoreo estructural.
Descripción del requerimiento:	Procesar señales para identificar la ausencia de tráfico vehicular: Determinar los intervalos de tiempo en los cuales ningún vehículo transite sobre el puente.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF02• RNF04• RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.8 Requisito funcional 8

Identificación del requerimiento:	RF08
Nombre del Requerimiento:	Almacenamiento
Características:	El <i>Developer</i> diseñará y estructurará una base de datos que permita guardar, consultar y eliminar información recolectada y procesada por el sistema.
Descripción del requerimiento:	Se almacenará en una base de datos Postgres la información del monitoreo del Puente Mezcala: Cambios de referencia, cálculo de tensiones en tirantes, picos, datos aleatorios y ausencia de tráfico vehicular; además de datos generales del puente y los sensores.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05 • RNF06
Prioridad del requerimiento:	Alta

3.3.9 Requisito funcional 9

Identificación del requerimiento:	RF09
Nombre del Requerimiento:	Publicar
Características:	El usuario "Requester Human" podrá consumir información del monitoreo mediante <i>Web-services</i> en formato JSON.
Descripción del requerimiento:	La plataforma publicará datos aleatorios representativos del monitoreo del Puente Mezcala, mediante el consumo de recursos informáticos (<i>Web-Services</i> en formato JSON). Pensado en la escalabilidad del sistema y el monitoreo remoto en tiempo real.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05

	<ul style="list-style-type: none"> • RNF06
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.3.10 Requerimiento funcional 10

Identificación del requerimiento:	RF10
Nombre del Requerimiento:	Publicar
Características:	El <i>Developer</i> diseñara interfaces WEB para visualizar datos representativos.
Descripción del requerimiento:	Diseñar e implementar interfaces que permitan al <i>Requester Human</i> visualizar señales e información en tiempo real. Los datos serán consumidos directamente de los <i>web services</i> en formato JSON y desplegados mediante interfaces HTML.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05 • RNF06
Prioridad del requerimiento: Alta	

3.4 Requisitos no funcionales

3.4.1 Requisitos de rendimiento RNF01

Garantizar que el diseño de las consultas u otro proceso no afecte el desempeño de la base de datos ni, considerablemente, el tráfico de la red.

3.4.2 Seguridad RNF02

- Garantizar la confiabilidad, la seguridad y el desempeño del sistema informático a los diferentes usuarios. En este sentido la información almacenada o registros realizados podrán ser consultados y actualizados permanente y simultáneamente, sin que se afecte el tiempo de respuesta.

- Garantizar la seguridad del sistema con respecto a la información y datos como: documentos, archivos y contraseñas.
- Facilidades y controles para permitir el acceso a la información al personal autorizado a través de Internet, con la intención de consultar y subir información pertinente.

3.4.3 Fiabilidad RNF03

- El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.
- La interfaz de usuario debe ajustarse a las características de la web de la institución, dentro de la cual se incorporará el sistema de gestión de procesos y el inventario.

3.4.4 Disponibilidad RNF04

- La disponibilidad del sistema debe ser continua, con un nivel de servicio para los usuarios de 7 días por 24 horas. Garantizar un esquema adecuado que permita la posible falla en cualquiera de sus componentes, además de contar con una contingencia y generación de alarmas.

3.4.5 Mantenibilidad RNF05

- El sistema debe disponer de una documentación fácilmente actualizable que permita realizar operaciones de mantenimiento con el menor esfuerzo posible.
-
- La interfaz debe estar complementada con un buen sistema de ayuda (la administración puede recaer en personal con poca experiencia en el uso de aplicaciones informáticas).

3.4.6 Portabilidad RNF06

- El sistema será implantado bajo la plataforma de Windows.
- Para su despliegue remoto se recomienda el uso de navegadores: Mozilla FireFox, Google, Chrome u Opera.

Anexo 2. Tablas de Bases de Datos

Tabla Sensores

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>Id_sensor</i>	Character Varying	ID del sensor	15	no	Identificador único de sensor (Primary key)
<i>Id_puente</i>	Character Varying	ID del puente en donde se instaló	15	si	Identificador único del puente
<i>Nombre_sensor</i>	Character Varying	Nombre del sensor FBG	15	si	Nombre en el sistema de instrumentación
<i>Tipo_sensor</i>	Character Varying	Tipo del sensor	25	si	Define si es inclinómetro, extensómetro u otro.
<i>Ubicacion</i>	Character Varying	Zona de Instalación	20	si	Define el lugar en donde quedo instalado

Tabla Datos

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>tiempo_adq</i>	timestamp	Intervalos de tiempo	interval	no	Hora en que se crea el registro
<i>a_ea_1</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_2</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_3</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_4</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_5</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_6</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
<i>a_ea_7</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A

a_ea_8	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_9	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_10	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_11	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_12	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_13	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_14	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_15	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_16	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_17	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_18	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_19	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_20	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_21	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_22	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_23	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_24	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo A
b_ea_1	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_2	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_3	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_4	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_5	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_6	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_7	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_8	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B

<i>b_ea_9</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_10</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_11</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_12</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_13</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_14</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_15</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_16</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_17</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_18</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_19</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_20</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_21</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_22</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_23</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_24</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de acero cuerpo B
<i>a_t3_ec_1</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en el cuerpo A torre 3
<i>a_t3_ec_2</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en el cuerpo A torre 3
<i>b_t3_ec_1</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en el cuerpo B torre 3
<i>b_t3_ec_2</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en el cuerpo B torre 3
<i>t3_ec_1</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3
<i>t3_ec_2</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3
<i>t3_ec_3</i>	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3

t3_ec_4	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_5	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_6	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Extensómetro de concreto instalado en la torre 3
sa1_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 1 tirante 3
sa1_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 1 tirante 7
sa2_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 2 tirante 3
sa2_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 2 tirante 7
sa3_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 3 tirante 11
sa3_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 3 tirante 4
sa4_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 4 tirante 4
sa4_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 4 tirante 11
sa5_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 5 tirante 8
sa5_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 5 tirante 3
sa6_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 6 tirante 3
sa6_t8,	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 6 tirante 8
sa7_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 7 tirante 8
sa7_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 7 tirante 3
sa8_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 8 tirante 3
sa8_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 8 tirante 8
sa9_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 9 tirante 11
sa9_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 9 tirante 4
sa10_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 10 tirante 4

sa10_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 10 tirante 11
sa11_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 11 tirante 7
sa11_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 11 tirante 3
sa12_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 12 tirante 3
sa12_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en la semi arpa 12 tirante 7
a_t2_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido longitudinal
a_t2_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido transversal
a_t3_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido longitudinal
a_t3_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido transversal
a_t4_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido longitudinal
a_t4_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido transversal
b_t2_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido longitudinal
b_t2_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido transversal
b_t3_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido longitudinal
b_t3_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido transversal
b_t4_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido longitudinal

b_t4_a_	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido transversal
a_t1_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 1 sentido Longitudinal
a_t1_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 1 sentido Transversal
a_t2_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido Longitudinal
a_t2_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido Transversal
a_t3_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido Longitudinal
a_t3_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido Transversal
a_t4_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido Longitudinal
a_t4_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido Transversal
b_t2_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido Longitudinal
b_t2_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido Transversal
b_t3_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido Longitudinal
b_t3_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido Transversal
b_t4_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido Longitudinal
b_t4_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido Transversal

b_t7_i_l	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 7 sentido Longitudinal
b_t7_i_t	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 7 sentido transversal
a_t_1	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
a_t_2	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
a_t_3	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
a_t_4	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
a_t_5	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
a_t_6	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo A
b_t_1	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo B
b_t_2	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo B
b_t_3	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en el cuerpo B
t3_t_1	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en la torre 3
t3_t_2	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Temperatura instalado en la torre 3
d_1	real	Desplazamiento	De 1E-37 to 1E+37	si	Sensor de desplazamiento instalado en la junta del puente

Tabla tipo de Eventos

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>id_evento</i>	integer	ID del evento	De 1E-37 to 1E+37	no	Identificador que permite cuantificar los eventos ocurridos
<i>tiempo_0</i>	timestamp	Inicio	intervalo	no	Inicio del evento
<i>tiempo_1</i>	timestamp	Fin	intervalo	no	Fin del Evento
<i>t-evento</i>	Character Varying	Identificador	20	no	Palabras claves para identificar un evento

Tabla Picos

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>Id_reg</i>	integer	Id del Pico	De 1E-37 to 1E+37	no	Consecutivo del número de alarmas, además sirve como identificador
<i>Tiempo-adq</i>	timestamp	Hora de registro	intervalo	si	Indica la hora en que se presentó un pico
<i>Id-sensor</i>	Character Varying	Identificador del sensor	15	no	Identifica y registra que sensor salió de su rango de operación normal
<i>valor</i>	real	Valor del pico	De 1E-37 to 1E+37		

Tabla Alarmas

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>id_alarma</i>	integer	Identificador de alarma	De 1E-37 to 1E+37	no	Consecutivo del número de alarmas
<i>t0</i>	timestamp	Inicio		no	Inicio de la alarma
<i>t1</i>	timestamp	Fin	De 1E-37 to 1E+37	No	Fin de alarma
<i>id_sensor</i>	character varying	Identificador del sensor	15	Si	Sensor que activó la alarma
<i>amplitud</i>	real		De 1E-37 to 1E+37	Si	Valor máximo alcanzado en el evento

<i>valor_referencia</i>	real		De 1E-37 to 1E+37	Si	Valor bajo condiciones de operación normal
<i>nivel_a</i>	character varying		15	Si	
<i>l_inf</i>	real	Valor Mínimo	De 1E-37 to 1E+37	Si	Valor mínimo permitido en condiciones normales de operación
<i>l_sup</i>	real	Valor Máximo	De 1E-37 to 1E+37	Si	Valor máximo permitido en condiciones normales de operación
<i>tipo</i>	character varying		15	si	Especifica por que fue generada la alarma

Tabla Tensiones

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
<i>id_registro</i>	integer	Incremental	De 1E-37 to 1E+37		Id de registro
<i>Tiempo_aq</i>	timestamp	Inicio		no	Inicio de la alarma
<i>sa1_t3</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 1 tirante 3
<i>sa1_t7</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 1 tirante 7
<i>sa2_t3</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 2 tirante 3
<i>sa2_t7</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 2 tirante 7
<i>sa3_t11</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 3 tirante 11
<i>sa3_t4</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 3 tirante 4
<i>sa4_t4</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 4 tirante 4
<i>sa4_t11</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 4 tirante 11
<i>sa5_t8</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 5 tirante 8
<i>sa5_t3</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 5 tirante 3
<i>sa6_t3</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 6 tirante 3
<i>sa6_t8,</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 6 tirante 8

sa7_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 7 tirante 8
sa7_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 7 tirante 3
sa8_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 8 tirante 3
sa8_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 8 tirante 8
sa9_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 9 tirante 11
sa9_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 9 tirante 4
sa10_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 10 tirante 4
sa10_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 10 tirante 11
sa11_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 11 tirante 7
sa11_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 11 tirante 3
sa12_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 12 tirante 3
sa12_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Tensiones del sensor instalado en la semi arpa 12 tirante 7

Tabla Medias

Nombre de la columna	Tipo	Nombre descriptivo	Rango de datos validos	Permite valores nulos	Descripción
Id_reg	integer	ID del registro	De 1E-37 to 1E+37	no	Consecutivo que representa los registros almacenados
tiempo_adq	timestamp	Intervalos de tiempo	interval	no	Hora en que se crea el registro
a_ea_1	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_2	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_3	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_4	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A

a_ea_5	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_6	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_7	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_8	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_9	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_10	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_11	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_12	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_13	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_14	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_15	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_16	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_17	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_18	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_19	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A

a_ea_20	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_21	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_22	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_23	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
a_ea_24	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo A
b_ea_1	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_2	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_3	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_4	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_5	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_6	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_7	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_8	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_9	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
b_ea_10	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B

<i>b_ea_11</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_12</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_13</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_14</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_15</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_16</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_17</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_18</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_19</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_20</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_21</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_22</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_23</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B
<i>b_ea_24</i>	real	Extensómetro de acero	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de acero cuerpo B

a_t3_ec_1	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en el cuerpo A torre 3
a_t3_ec_2	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en el cuerpo A torre 3
b_t3_ec_1	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en el cuerpo B torre 3
b_t3_ec_2	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en el cuerpo B torre 3
t3_ec_1	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_2	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_3	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_4	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_5	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
t3_ec_6	real	Extensómetro de concreto	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el extensómetro de concreto instalado en la torre 3
sa1_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 1 tirante 3
sa1_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 1 tirante 7
sa2_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 2 tirante 3

sa2_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 2 tirante 7
sa3_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 3 tirante 11
sa3_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 3 tirante 4
sa4_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 4 tirante 4
sa4_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 4 tirante 11
sa5_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 5 tirante 8
sa5_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 5 tirante 3
sa6_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 6 tirante 3
sa6_t8,	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 6 tirante 8
sa7_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 7 tirante 8
sa7_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 7 tirante 3
sa8_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 8 tirante 3
sa8_t8	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 8 tirante 8
sa9_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 9 tirante 11
sa9_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 9 tirante 4

sa10_t4	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 10 tirante 4
sa10_t11	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 10 tirante 11
sa11_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 11 tirante 7
sa11_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 11 tirante 3
sa12_t3	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 12 tirante 3
sa12_t7	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en la semi arpa 12 tirante 7
a_t2_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido longitudinal
a_t2_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido transversal
a_t3_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido longitudinal
a_t3_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido transversal
a_t4_a_l	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido longitudinal
a_t4_a_t	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido transversal

<i>b_t2_a_l</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido longitudinal
<i>b_t2_a_t</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido transversal
<i>b_t3_a_l</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido longitudinal
<i>b_t3_a_t</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido transversal
<i>b_t4_a_l</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido longitudinal
<i>b_t4_a_t</i>	real	Acelerómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el acelerómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido transversal
<i>a_t1_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 1 sentido Longitudinal
<i>a_t1_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 1 sentido Transversal
<i>a_t2_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido Longitudinal
<i>a_t2_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 2 sentido Transversal
<i>a_t3_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido Longitudinal

<i>a_t3_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 3 sentido Transversal
<i>a_t4_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido Longitudinal
<i>a_t4_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo A torre 4 sentido Transversal
<i>b_t2_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido Longitudinal
<i>b_t2_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 2 sentido Transversal
<i>b_t3_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido Longitudinal
<i>b_t3_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 3 sentido Transversal
<i>b_t4_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido Longitudinal
<i>b_t4_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 4 sentido Transversal
<i>b_t7_i_l</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 7 sentido Longitudinal
<i>b_t7_i_t</i>	real	Inclinómetro	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el inclinómetro instalado en el cuerpo B torre 7 sentido transversal

<i>a_t_1</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>a_t_2</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>a_t_3</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>a_t_4</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>a_t_5</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>a_t_6</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo A
<i>b_t_1</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo B
<i>b_t_2</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo B
<i>b_t_3</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en el cuerpo B
<i>t3_t_1</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en la torre 3
<i>t3_t_2</i>	real	temperatura	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de temperatura instalado en la torre 3
<i>d_1</i>	real	Desplazamiento	De 1E-37 to 1E+37	si	Medias estimadas para el sensor de desplazamiento instalado en la junta del puente

Tabla tipo de datos

Nombre del tipo	Descripción
bigint	entero de ocho bytes con signo (-9223372036854775808 hasta 9223372036854775807)
bigserial	entero de ocho bytes con autoincremento
bit	cadena de bits de longitud fija
bit varying(n)	cadena de bits de longitud variable
boolean	lógico booleano (verdadero/falso)
bytea	datos binarios character(n)
char(n)	cadena de caracteres de longitud fija
date	fecha calendario (año, mes, día)
double precision	un valor en punto flotante de doble precisión (15 dígitos decimales)
integer	entero de cuatro bytes con signo (-2147483648 hasta +2147483647)
interval(p)	intervalo de tiempo de uso general
decimal [(p, s)]	valor numérico exacto con precisión seleccionable (p) y lugares decimales (s).
real	un valor en punto flotante de precisión simple (6 dígitos decimales)
smallint	entero de dos bytes con signo (-32768 hasta +32767)
serial	entero de cuatro bytes con autoincremento
text	cadena de caracteres de longitud variable
time	hora del día
timetz	hora del día, incluida la zona horaria
timestamp	fecha y hora
timestampz	fecha y hora, incluida la zona horaria
varchar(n)	cadena de caracteres de longitud variable



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>

Esta publicación fue desarrollada en el marco de un sistema de gestión de calidad
certificada bajo la norma ISO 9001:2015