

Desarrollo de un Prototipo de Inteligencia de Negocios para Monitoreo de Salud de Puentes

Development of a Business Intelligence Prototype for Bridge Health Monitoring

Cesar Garita

Escuela de Ingeniería en Computación
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
cesar@tec.ac.cr

Giannina Ortiz

Escuela de Ingeniería en Construcción
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
gortiz@tec.ac.cr

Resumen — Este artículo presenta el desarrollo de un prototipo de un sistema de inteligencia de negocios aplicado a monitoreo de salud de estructuras de puentes en Costa Rica. El prototipo final consiste en un conjunto de reportes web con elementos de visualización interactivos que permiten realizar consultas de forma inmediata y flexible acerca de la condición de puentes nacionales. Las consultas se basan en la definición de un conjunto de indicadores estratégicos relacionados con características específicas de puentes incluyendo su condición estructural, funcionalidad y variables ambientales. Esta información es fundamental para apoyar la toma de decisiones en procesos de planificación de la inversión en el sector de obras públicas por parte de instituciones del gobierno central y municipalidades. El artículo incluye una descripción de las principales tareas realizadas para desarrollar el prototipo incluyendo: selección de plataforma base, obtención y limpieza de datos, diseño de modelo de datos, creación de reportes y visualizaciones y validación. La aplicación de técnicas de inteligencia de negocios e indicadores estratégicos en el área de monitoreo de salud de puentes es una de las contribuciones novedosas de este trabajo.

Palabras Clave – *inteligencia de negocios, puentes, monitoreo de salud estructural, prototipo.*

Abstract — This article presents the development of a prototype of a business intelligence system applied to health monitoring of bridge structures in Costa Rica. The final prototype consists of a set of web reports with interactive visualization elements that allow immediate and flexible queries about the condition of national bridges. The queries are based on the definition of a set of strategic indicators related to specific characteristics of bridges including their structural condition, functionality and environmental variables. This information is essential to support decision-making in investment planning processes in the public works sector by central government institutions. The article includes a description of the main tasks performed to develop the prototype including: selection of base platform, extraction and cleaning of data, data modeling, creation of reports and visualizations, and validation. The application of business intelligence techniques in health monitoring of bridges is one of the novel contributions of this work.

Keywords - *business intelligence; bridges; structural health monitoring; prototype.*

I. INTRODUCCIÓN

El Monitoreo de Salud Estructural (SHM por sus siglas en inglés para *Structural Health Monitoring*) se define básicamente como la administración grandes cantidades de datos asociados a variables específicas que indican la condición de una estructura civil, como por ejemplo, un puente en una vía de transporte público [1]. Las variables pueden incluir, por ejemplo, vibración o deformación de partes de la estructura bajo condiciones de carga, así como resultados de inspecciones técnicas detalladas realizadas a lo largo del tiempo. Estos datos son posteriormente analizados con el fin de obtener información valiosa sobre la estructura incluyendo aspectos como vida útil remanente, estado o condición general, comprensión del comportamiento actual de la estructura.

En el caso particular de estructuras de puentes, algunos autores señalan que SHM debería apoyar procesos de toma de decisiones incluyendo funcionalidades tales como: interfaces web amigables, sistemas de información geográfica, bases de conocimiento, sistemas expertos e integración de sistemas de inventario de puentes [2], [3]. Estos sistemas son necesarios para apoyar adecuadamente procesos de toma de decisiones referentes a la priorización de inversiones de recursos en gestión de infraestructura vial. Cabe destacar que los puentes son componentes clave de la infraestructura vial de cualquier país debido a su alto costo constructivo y a que su inadecuado funcionamiento puede ocasionar cuellos de botella o desviaciones de tránsito con consecuencias serias en muchos sectores socioeconómicos.

En este contexto, este artículo presenta el desarrollo inicial de un prototipo de inteligencia de negocios orientado específicamente a monitoreo de salud de puentes utilizando indicadores estratégicos. La utilización de técnicas de inteligencia de negocios en SHM de puentes es uno de los aspectos novedosos de este trabajo como se ha podido identificar con base en la revisión de trabajos relacionados.

Este trabajo se realiza en el contexto del grupo de investigación e-Bridge del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), que ha llevado a cabo diferentes proyectos relacionados con el diseño y desarrollo de tecnologías de información

innovadoras para SHM de puentes (ver p.ej. [4],[5],[6],[7]). En particular, los resultados de estas investigaciones están siendo aplicados y transferidos por medio del proyecto de extensión “Priorización de intervención de estructuras de puentes mediante el uso de indicadores de desempeño. Plan piloto: Municipalidad de El Guarco de Cartago” del TEC, el cual tiene como fin brindar a una municipalidad herramientas que le ayuden en la priorización de las intervenciones requeridas para su infraestructura de puentes.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma. La sección II presenta una breve revisión de trabajos relacionados en el área de sistemas para SHM. La sección III incluye los resultados principales con respecto a la evaluación y selección de la herramienta base de inteligencia de negocios que se utilizó para desarrollar el prototipo. La sección IV describe el proceso general de obtención y limpieza de los datos que manipula el prototipo. La sección V introduce el modelo de datos que se utiliza para realizar las consultas sobre indicadores estratégicos. La sección VI muestra ejemplos concretos de consultas y visualizaciones de datos obtenidas mediante el prototipo. La sección VII resume los resultados de un taller de validación que se realizó con el fin de obtener retroalimentación de usuarios potenciales sobre las funcionalidades desarrolladas. Finalmente, la sección VIII enumera algunas de las conclusiones y aspectos que serán tomados en cuenta para trabajos futuros.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

En principio, existen muchas tecnologías, herramientas y sistemas que podrían aplicarse para apoyar la gestión de información para SHM [8]. En [9] se provee un glosario general de sistemas de monitoreo de puentes disponibles incluyendo sus fortalezas y debilidades. Se definen criterios de evaluación para ayudar a los administradores de puentes a escoger posibles aplicaciones comerciales. En el reporte [10], se sintetiza el conocimiento y tecnologías disponibles para SHM con énfasis en puentes: el reporte resume el estado del arte de sistemas de SHM y sus capacidades, así como compañías que ofrecen servicios. El artículo [11] incluye una revisión de sistemas administradores de puentes utilizados mundialmente para apoyar el proceso de toma de decisiones relacionadas; se aporta una descripción de la funcionalidad general de sistemas de gestión de puentes para ese propósito.

En cuanto a sistemas disponibles para monitoreo de salud de puentes, destacan, por ejemplo:

- BRIMOS: este sistema consta de varios sensores, redes de transmisión de datos de alta velocidad y un centro de información que recopila y difunde información de alto nivel sobre el comportamiento del puente [12].
- AASHTOWare Bridge Management software: se utiliza para la gestión de puentes, es una solución eficiente de gestión de datos, también proporciona herramientas para la planificación del mantenimiento y la identificación de las necesidades de asignación de fondos [13].
- SHM Live: Este sistema realiza un monitoreo permanente de puentes mediante el cual los datos son transmitidos automáticamente a la base de datos.

Permite visualizar gráficamente el estado de los sensores en la estructura [14]. El portal permite configurar alertas en tiempo real y diferentes formas de visualización de datos.

Con respecto a aplicaciones de minería de datos e inteligencia de negocios en SHM, en [15], se presentan varios ejemplos del uso de operaciones de minería para facilitar el entendimiento de los datos y que pueden ser integradas dentro de un sistema de toma de decisiones para SHM. El artículo [16], presenta algunos métodos novedosos para automatizar el proceso de evaluación de estructuras y en particular muestra el enfoque hacia la aplicación de instrumentos de minería de datos del proyecto BRIMOS. Sobre este mismo proyecto, en [3] algunos indicadores clave de rendimiento (KPIs – *Key Performance Indicators*) de estructuras de puentes, incluyendo: integridad, operabilidad, evaluación de fatiga, localización de daño, curva de ciclo de vida y mapeo de rigidez. Estos indicadores también se describen en (Wenzel, Veit-Egerer, & Widmann, 2012). La mayoría de estos parámetros se calculan con base en datos sobre vibración.

Según la revisión de trabajos realizada, algunos de los enfoques de sistemas de SHM estudiados, incluyen elementos de como indicadores estratégicos, sin embargo, en ninguno se encontró explícitamente la utilización de una plataforma especializada de inteligencia de negocios tal como Pentaho o Power BI, que permita la manipulación, consulta y visualización de información de SHM de puentes de manera flexible vía web.

III. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE HERRAMIENTA BASE

Esta sección describe brevemente las tareas que se llevaron a cabo para la evaluación y selección de las herramientas de inteligencia de negocios que se utilizaron en el desarrollo del prototipo, como se indica a continuación:

1. Revisión bibliográfica sobre herramientas de Inteligencia de Negocios. Actualmente existen muchas y buenas opciones que podría aplicarse en e-Bridge. Debido a esta razón, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre las comparaciones de las herramientas que actualmente están disponibles en el mercado (ver p.ej. [17], [18]). Como parte de la revisión se elaboró una tabla incluyendo las herramientas analizadas y los criterios utilizados en cada referencia.
2. Definición de criterios de evaluación. Con base en la información que se recopiló durante la revisión de las fuentes consultadas, se identificaron muchos criterios importantes. Además, se añadieron otros que aportan valor a funcionalidades o situaciones específicas de e-Bridge. Todos estos criterios se agruparon en cinco áreas según su naturaleza. Las áreas definidas fueron: integración (incluyendo integración de reportes web), entrega de información (consultas, visualizaciones interactivas, dispositivos móviles), análisis de datos (minería, KPIs), soporte y documentación (comunidad, blogs, foros), y aspectos técnicos (sistema operativo, base de datos, requerimientos de equipo, tipo de licenciamiento).
3. Selección de herramientas a evaluar. A partir de la revisión bibliográfica se identificó una serie de herramientas de inteligencia de negocios candidatas a cumplir con la

mayoría de los criterios explicados anteriormente. Las herramientas identificadas en este punto incluyen: SpagoBI, Pentaho, Vainilla, Jaspersoft, Tableau, BIRT, Qlik, Tibco, entre otras.

4. Comparación de las herramientas. Una vez que se definieron los criterios y las herramientas, se procedió a construir una tabla comparativa que detalla el proceso de evaluación. En la tabla se puso en evidencia las fortalezas y debilidades de cada herramienta. A partir del análisis de estos resultados en la sección siguiente se va a generar un ranking de las herramientas.
5. Evaluación y selección final. A partir de la evaluación realizada se generó un ranking de herramientas según la idoneidad para el proyecto. Las herramientas se ordenaron por nivel de importancia según la tabla comparativa y el valor que podría agregar al proyecto. Según la evaluación final, la herramienta seleccionada fue Power BI de Microsoft [19]. Además de estar muy bien calificada por su funcionalidad, se consideró importante que la universidad cuenta con una infraestructura y licencias básicas para su utilización. También se consideró estratégico su enfoque de “autogestión” mediante el cual usuarios de la plataforma pueden manejar datos y resolver consultas sin necesidad de contar con conocimientos técnicos de programación. Por otro lado, se realizaron ciertas pruebas de concepto utilizando Pentaho considerando que es utilizada en diferentes aplicaciones de la universidad.

IV. OBTENCIÓN Y LIMPIEZA DE DATOS

Los datos que maneja el prototipo son obtenidos inicialmente a partir de formularios de inspecciones técnicas detalladas realizadas por ingenieros en construcción a cada uno de los puentes en estudio. Es decir, los ingenieros realizan giras de inspección en las que para cada puente recaban un conjunto estandarizado de datos que se utiliza para describir la estructura y evaluar la condición específica de diferentes componentes en un momento dado (p.ej. ubicación geográfica, fecha de inspección, tipo de puente, estado de vigas, barandas, pilares, cables, losas, juntas de expansión, altura libre, longitud, ancho, daños, fotografías, etc.). Estos formularios son cargados al Sistema Administrador de Estructuras de Puentes (SAEP) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), que representa un sistema de inventario nacional de puentes que actualmente está en la fase final del registro de información. De esta forma, se garantiza la completitud y la estandarización de los datos. El SAEP permite exportar los datos mediante reportes que son finalmente almacenados en un formato de archivo Excel. Este archivo es el que se utiliza como fuente o repositorio de datos principal del prototipo. El archivo está organizado en varias hojas que contienen los datos agrupados por diferentes categorías tales como inspecciones, accesorios, subestructura, superestructura. Esto permite almacenar y manejar los datos de forma modular para facilitar su procesamiento. Los datos en diferentes hojas se enlazan mediante el código de puente, que es único para cada estructura.

Es importante destacar que se deben definir y mantener ciertas políticas sobre la manera en que se ingresan los datos de los formularios para evitar inconsistencias en la consulta y manipulación de la información. Algunas consideraciones

incluyen, por ejemplo: uso de abreviaturas para nombres de ríos o lugares; formato de referencias geográficas; uso de caracteres como “ñ”, formato de números reales, escalas de valoración de criterios, etc. Aun cuando estas políticas están definidas, es necesario realizar tareas de validación y limpieza de datos para garantizar su cumplimiento.

El repositorio de información actual sobre el inventario cuenta con puentes inspeccionados del año 2014 al 2016. Estos datos fueron depurados para identificar los indicadores a utilizar en el prototipo de inteligencia de negocios los cuales se clasifican en 2 categorías que son las características generales del inventario y los daños del puente.

En las características generales del inventario se encuentra los siguientes atributos: ubicación del puente, zona administrativa a la que pertenece, tipo de ruta en la que se encuentra, clasificación según la longitud del puente, material del puente, estructura del puente.

Los daños del puente se clasifican a su vez en accesorios, superestructura y subestructura, cada uno de estos con sus propios atributos que cuentan con una condición general y condición desglosada. El archivo se almacena ya sea de forma local o en la nube usando el servicio de hospedaje OneDrive de Microsoft, el cual está disponible para la universidad.

V. MODELO DE DATOS

El uso de indicadores en la gestión de puentes en este trabajo ha resultado ser un elemento fundamental para homogenizar criterios, monitorear el estado de las estructuras, priorizar y verificar cumplimiento de metas y objetivos. Los indicadores propuestos utilizados en el prototipo responden al enfoque de la metodología de evaluación de puentes desarrollada por los ingenieros de e-Bridge que considera variables ambientales, de condición estructural y funcionalidad [20].

Para cada uno de los indicadores que se decidió manejar, se definió una ficha de diseño del indicador que contiene datos como: código, nombre, fecha de actualización, descripción, forma de cálculo y visualización (se especifica la manera visual que se utilizará para despliegue e interacción con el usuario). La


CODIGO	eBridge-INV-01	FECHA DE ACTUALIZACION	Octubre, 2017
NOMBRE	Cantidad de estructuras por ubicación geográfica		
DESCRIPCION	Este indicador muestra la cantidad de puentes por ubicación geográfica, sea por provincia, cantón o distrito.		
FORMA DE CALCULO	Σ estructuras (provincia, cantón o distrito)		
INTERPRETACION	Este indicador muestra la cantidad de estructuras en diversas ubicaciones geográficas del país, puede servir para seguimiento y asignación de recursos.		
CARACTERISTICAS	PERIODICIDAD	Cada vez que se introduzca un nuevo puente	
	FUENTE DE INFORMACION	SAEP	
	RESPONSABLE	CONAVI - Municipalidad	
	REPRESENTACION	Tabla, gráfico o filtro	
USOS	Conocer la ubicación de las estructuras.		
OBSERVACIONES	Debe actualizarse al menos cada tres meses y se debe procurar contar con el inventario completo. El responsable de custodiar esta información es el responsable de su administración, sea MOPT, CONAVI o Municipalidades.		
VALOR A CONSEGUIR	N.A	RANGO ACEPTABLE	N.A
EJEMPLO			

Figura 1. Ejemplo de ficha de indicador.

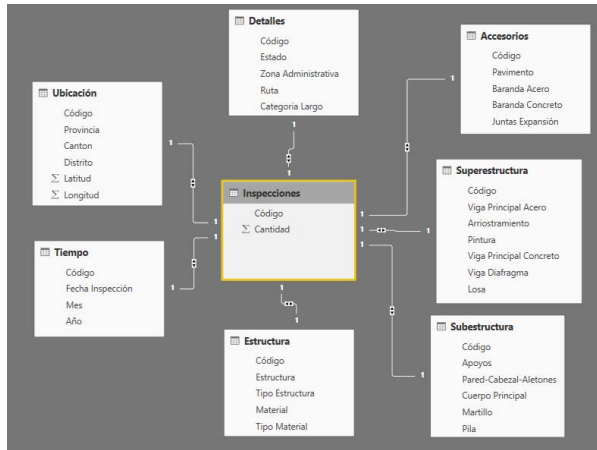


Figura 2. Modelo de relaciones de datos.

Figura 1 muestra un ejemplo de ficha de indicador para la cantidad de estructuras (puentes) por ubicación geográfica.

Para manejar los datos de indicadores, se creó un modelo de relaciones en Power BI (similar a un modelo de base de datos relacional) a partir del archivo Excel descrito en la sección anterior. Las relaciones entre los datos se definen principalmente mediante el identificador del puente. El modelo de datos se muestra en forma resumida en la Figura 2. Con base en este modelo es posible definir una serie de consultas o fórmulas relacionadas para calcular los indicadores utilizando el lenguaje DAX que son utilizadas por las visualizaciones de datos que se describen en la siguiente sección.

Por ejemplo, se definieron fórmulas para determinar cuándo el estado de un componente del puente es excelente, regular, deficiente. Estos valores son asignados a cada uno de los criterios de evaluación de los puentes lo que permite tener un panorama más claro de los puentes durante la fecha de inspección.

VI. CONSULTAS Y VISUALIZACIONES DE DATOS

En Power BI es posible crear reportes que son un tipo de vista sobre un conjunto de datos. Los reportes incluyen visualizaciones que son componentes gráficos que permiten interactuar con los datos disponibles según las consultas y fórmulas definidas. Existe una gran cantidad de tipos de visualizaciones incluyendo: tablas, barras, círculos tipo pastel, mapas de calor, imágenes satelitales, etc.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de reporte incluido en una página web, que incluye un conjunto de visualizaciones de algunos de los indicadores definidos para el prototipo. En este ejemplo los indicadores están relacionados con datos de ubicación geográfica, tipo de material y tipo de estructura. A la izquierda de la figura se incluye la lista de puentes y sus códigos. En el centro aparece un mapa escalable del país con la localización de los puentes. A la derecha, aparecen los campos de filtros que se pueden aplicar para refinar la selección de puentes que muestran las visualizaciones. Es decir, en todas las visualizaciones se pueden mostrar puentes por provincia, cantón, distrito, fecha de inspección y ruta. En la parte inferior se incluyen gráficos para mostrar la distribución de puentes según

tipo de material y tipo de estructura. A partir de las visualizaciones se puede concluir fácilmente que la mayoría de los puentes son de concreto y de estructura simple. Las visualizaciones cambian en tiempo real según se varíen los valores de los campos de filtros antes mencionados. Además, las visualizaciones son interactivas y están relacionadas entre sí de forma que también pueden funcionar como filtros al seleccionar una categoría de datos. Para conocer la información específica de un puente en todas las visualizaciones, basta con seleccionarlo en la lista de la izquierda.

De la misma manera, el prototipo desarrollado incluye páginas web con reportes de visualizaciones de indicadores para la mayoría de los datos registrados inicialmente tales como: condición global, condición de componentes (accesorios, superestructura, pavimento), tipo de estructura, entre otros. En este momento, se cuenta con cerca de 40 indicadores asociados a cerca de 1500 puentes en el país.

VII. VALIDACIÓN

Para validar los indicadores propuestos, así como las funcionalidades generales del prototipo de inteligencia de negocios desarrollado, se siguió una metodología de consulta participativa involucrando usuarios y expertos tanto internos como externos al proyecto. En particular, se organizó un taller de validación involucrando personas internas y externas al proyecto incluyendo exasesores del ministro del MOPT, encargados de puentes municipales e ingenieros en construcción con experiencia en inspecciones de puentes. En el taller se realizaron presentaciones para explicar los resultados obtenidos y se aplicó un instrumento de consulta (encuesta) para conocer la opinión de los participantes con respecto a la valoración de la importancia de cada indicador y el diseño del prototipo. En la Figura 4 se muestra el resumen de las respuestas obtenidas con respecto a la valoración de varios aspectos de diseño del prototipo.

El análisis de las respuestas sugiere que en general la evaluación de la importancia de los indicadores propuestos es alta, particularmente los que se refieren a condición estructural e inventario. En cuanto a la evaluación del prototipo desarrollado, destacan importancia e impacto como los factores más altos. El más bajo, aunque arriba de 4 en la escala 1-5 corresponde a claridad.

VIII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este trabajo permitirá a los administradores de infraestructura vial de Costa Rica, en particular del MOPT y del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) para rutas nacionales y a las Municipalidades para el caso de rutas cantonales, contar con información de fácil acceso para la toma de decisiones.

La utilización de indicadores estratégicos es una herramienta que permite eliminar la subjetividad en la toma de decisiones para la inversión de recursos públicos para la conservación de los puentes. El uso de indicadores permitirá tener un mejor control sobre el mantenimiento de la estructura y posteriormente serán un insumo fundamental para la determinación de la vida útil de las estructuras.

El trabajo interdisciplinario como este permite soluciones integrales a problemas complejos, que no son solamente de

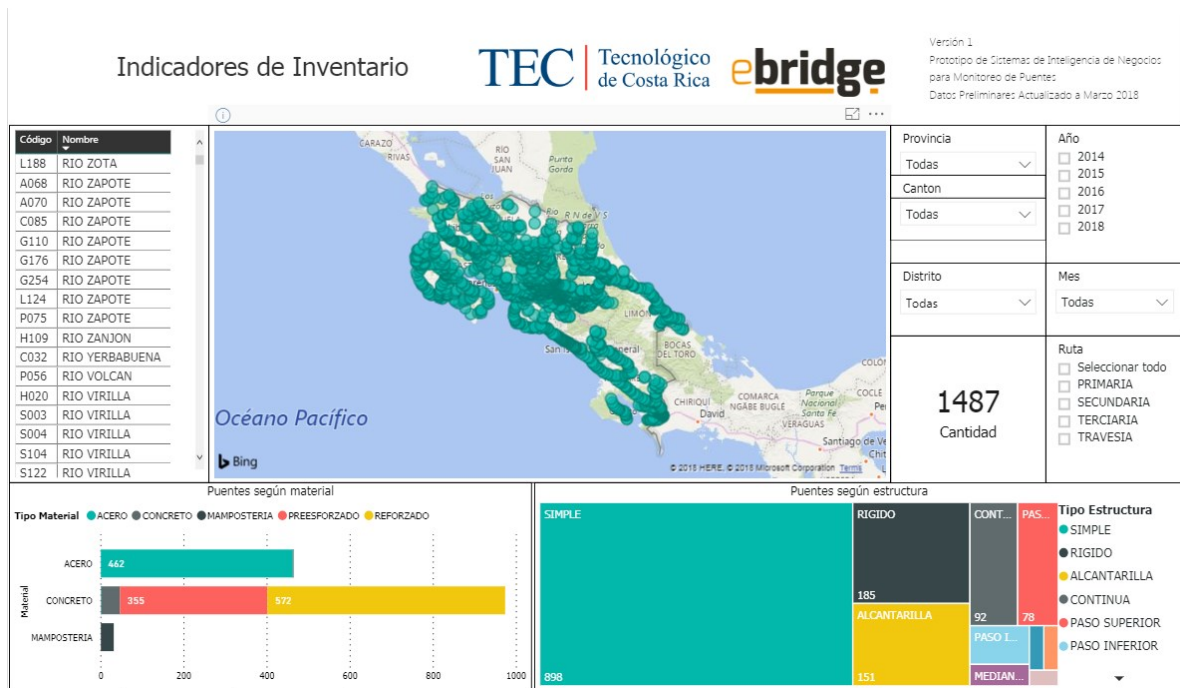


Figura 3. Ejemplo de página web con visualizaciones de indicadores y filtros de consulta.

Costa Rica, sino que la estrategia de abordaje puede aplicarse en otros entornos.

Como trabajo futuro se puede mencionar un mayor refinamiento de los indicadores para determinar su nivel de significancia en la gestión estratégica de puentes. También se está trabajando en una metodología de priorización de mantenimiento de puentes en una municipalidad particular utilizando el prototipo desarrollado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer el aporte de los investigadores y asistentes que hacen posible el desarrollo de los proyectos de investigación y extensión del grupo de e-Bridge.

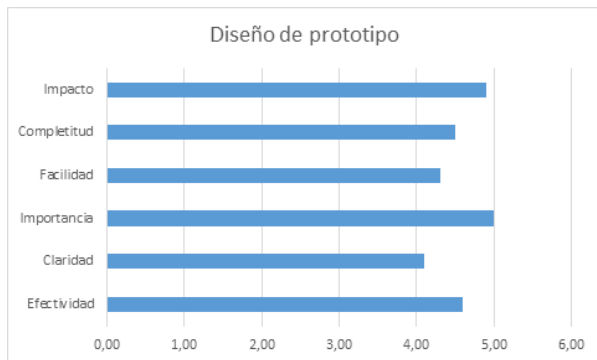


Figura 4. Evaluación de diseño de prototipo desarrollado.

REFERENCIAS

- [1] B. Glisic and D. Inaudi, Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, 1st ed: John Wiley & Sons, 2007.
- [2] H. Wenzel, Health Monitoring of Bridges, 1st ed: Wiley, 2009.
- [3] H. Wenzel, P. Furtner, and R. Clifton, "The Role of Structural Health Monitoring in the Life-Cycle-Management of Bridges", in 8th International Cable Supported Bridge Operators Conference - ICSBOC 2013. Edinburgh, Scotland, 2013.
- [4] C. Garita and G. Ortiz, "Towards a Workflow Management Approach for Health Monitoring of Bridges", in 15th IFIP International Working Conference on Virtual Enterprises PRO-VE. Amsterdam, The Netherlands: Springer, 2014.
- [5] C. Garita and G. Ortiz, "e-Bridge 3.0: A Strategic Approach to Structural Health Monitoring of Bridges in Costa Rica", in 6th IFIP World Information Technology Forum, WITFOR 2016, vol. 481, F. J. Mata and A. Pont, Eds. San Jose, Costa Rica: Springer-Verlag, 2016.
- [6] G. Ortiz and C. Garita, "The e-Bridge 2.0 Approach for SHM of Bridges in Costa Rica", in 10th International Workshop on Structural Health Monitoring - IWSHM 2015. University of Stanford, California, 2015.
- [7] M. Gutierrez and C. Garita, "Prototype Development of a Wireless Embedded System for Bridge Monitoring", presented at 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII), Managua, Nicaragua, 2017.
- [8] C. Garita, "Enfoques de Integración de Información para Sistemas de Monitoreo de Salud Estructural de Puentes", Tecnología en Marcha, vol. 29, 2016.
- [9] A. Gastineau, T. Johnson, and A. Schultz, "Bridge Health Monitoring and Inspections - A Survey of Methods", University of Minnesota, MN/RC 2009-29, 2009.
- [10] Y. Dong and R. Song, "Bridges Structural Health Monitoring and Deterioration Detection - Synthesis of Knowledge and Technology", University of Alaska Fairbanks, MN/RC 2009-29, 2010.
- [11] R. Stratt, "Bridge Management: a System Approach for Decision Making", School of Doctoral Studies Journal, pp. 67-108, 2010.

- [12] H. Wenzel, R. Veit-Egerer, and P. Furtner, "Standardization of vibration based condition indicators for structural health monitoring and life cycle engineering", in Fourth International Symposium on Life-cycle Civil Engineering, H. Furuta, D. Frangopol, and M. Akiyama, Eds. Tokyo, Japan: CRC Press, 2015.
- [13] AASHTO, "AASHTOWare Bridge Management software", <http://aashtowarebridge.com/>, 2018.
- [14] D. Inaudi, "SHMLive Web-based Data Management Software", 2012.
- [15] E. Sonnleitner, H. Kosorus, S. Anderlik, R. Stumptner, B. Freudenthaler, H. Allmer, and J. Kung, "Integration of Data Mining Operations for Structural Health Monitoring", in 8th International Workshop on Structural Health Monitoring. California, USA, 2011.
- [16] E. Forstner and H. Wenzel, "The Application of Data Mining in Bridge Monitoring Projects: Exploiting Time Series Data of Structural Health Monitoring", in 22nd International Workshop on Database and Expert Systems Applications - DEXA'11. Toulouse, France, 2011, pp. 297 - 301.
- [17] J. Lapa, J. Bernardino, and A. Figueiredo, "A comparative analysis of open source business intelligence platforms", in Proceedings of the International Conference on Information Systems and Design of Communication - ISDOC'14. Lisbon, Portugal: ACM New York, 2014, pp. 86-92.
- [18] Gartner, "Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms", <https://www.sisense.com/gartner-magic-quadrant-business-intelligence/>, 2018.
- [19] Microsoft, "Power BI: Interactive Data Visualization BI Tools", <https://powerbi.microsoft.com/en-us/>, 2018.
- [20] F. Picado and G. Ortiz, "Desarrollo de un modelo de confiabilidad para el análisis del desempeño de puentes. Un caso de estudio en Costa Rica", Tecnología en Marcha, vol. 30, 2017.