

Inspección y Monitoreo de la Integridad Estructural en Puentes

Inspection and Monitoring of Structural Integrity in Bridges

Alexander Mabrich^a, Burak Boyaci^b

^a PE, MSc, MBA, PMP. Bentley Systems. Manager, Bridge&Tunnel. Alex.mabrich@bentley.com

^b PE, MSc. Bentley Systems. Senior Director, Software Development. Civil Engineering. Burak.boyaci@bentley.com

RESUMEN

En este artículo, se expondrá la tecnología disponible para la inspección de los elementos estructurales en puentes a través de ordenadores portátiles y tabletas tipo iPad. La inspección procesará los datos obtenidos y luego generará el reporte sobre la capacidad operativa de la estructura.

ABSTRACT

This publication will present the technology available for the inspection of structural elements through laptops and tablets such as iPad will be presented. The inspection will process the data obtained and then generate a report of the operational capacity of the structure.

PALABRAS CLAVE: Modelo 3D, Inspección, Monitoreo, Gemelos Digitales.

KEYWORDS: 3D Models, Inspection, Monitoring, Digital Twins

1. Introducción

La tragedia del colapso del puente sobre el río Mississippi en la carretera I-35W en el año 2007 sirvió como una llamada de alerta al gobierno y a la población en general acerca del estado de la infraestructura vial en los Estados Unidos de Norteamérica. Este puente de acero de 8 carriles de tráfico era inspeccionado anualmente desde 1993 por el Departamento de Transportes de Minnesota (MnDOT) y a pesar de ser clasificado como estructuralmente deficiente por última vez en el año 2005, no existían los suficientes parámetros para cerrar el tráfico. Sin embargo, se decidió su mejoramiento para el 2006, y futuro reemplazo en el 2020. Lamentablemente, el primero de agosto del 2007 en la hora de mayor congestión de tráfico, el puente colapsó

catastróficamente ocasionando 13 muertos. Luego del proceso de investigación, la conclusión del informe fue el diseño inadecuado de las planchas de unión (gusset plates) entre los elementos de la armadura de acero además de las sobrecargas aplicadas al puente durante el proceso constructivo que se llevaba a cabo en esos momentos.

El National Transportation Safety Board (NTSB) advirtió que los puentes diseñados en esa época en EE. UU. seguían los mismos parámetros de diseño que el puente colapsado, y que a pesar de ser inspeccionados por muchos años no se habían reportado causas de fallas u otras posibles complicaciones. Entonces se vio la necesidad de cambiar los métodos de inspección y de hacer un seguimiento mucho

más metódico a las fallas o deterioros que se vayan encontrando.

La tarea no es fácil. Los EE. UU. tiene 600,000 puentes de los cuales el 25% están ya clasificados como estructuralmente deficientes o funcionalmente obsoletos, por lo cual deben ser monitoreados constantemente. Además, el National Bridge Inventory (FHWA 2004) precisa más de 200 elementos de inspección al detalle para los informes de inspección que deben ser reportados cada dos años a la Administración Federal de Carreteras (FHWA). La necesidad de establecer un método automatizado y más granular de inspección necesitaba ser implementado.

En esta ponencia, se presentarán los retos, alcances y métodos para establecer un sistema automatizado de inspección y monitoreo de puentes.

2. Retos en la Inspección de Puentes

La inspección de estructuras de puentes de manera automatizada enfrenta múltiples retos para una efectiva implementación, desde la eliminación de reportes manuales hasta un efectivo procesamiento de la información, y manejo de datos históricos a lo largo de la vida útil de la estructura.

Aquí los detallamos a continuación:

1. Manejo de Datos Históricos: La información de diseño y los planos finales elaborados luego de la construcción de la estructura no están disponibles o quizás luego de muchos años estos se han perdido. Muchas veces esta información no está en un solo lugar, y diferentes reportes o versiones de planos deben ser consultados. Más aún, la información de los cálculos de diseño también es difícil de obtener.

2. Datos de Inspección en Documentos Físicos: La información obtenida en sucesivas inspecciones está en documentos en papel, lo que impide la búsqueda rápida de información específica sobre la estructura. Muchas veces, esta información se digitaliza, pero no permite búsquedas inteligentes dentro del

documento.

3. Manejo de la Información para Mantenimiento: De la misma manera que la información de la estructura no permite una búsqueda rápida y organizada de los diferentes elementos del puente, tampoco permite un seguimiento adecuado de los procesos de mantenimiento y rehabilitación hechos a la estructura: los estándares que se usaron, especificaciones técnicas, proveedores, inspectores, revisiones finales, etc.

4. Proceso de Trabajo Ineficiente: Por todo lo expuesto anteriormente, el proceso de inspección y registro de mantenimiento de la capacidad operativa de un puente se torna en una actividad muy ineficiente.

Esto debido a:

- a. La recopilación de datos en campos se realiza de manera manual, utilizando formularios inadecuados.
- b. La evaluación de la información de campo suele ser subjetiva. Además, el acceso a estándares de cálculo y diseño, y planos finales no es posible en campo debido a su volumen y falta de disponibilidad electrónica.
- c. No existe una forma organizada de crear un archivo fotográfico de la estructura.
- d. La generación de reportes finales de inspección es tediosa y con un criterio no claramente definido para la evaluación de la capacidad operativa de la estructura.

5. Múltiples Versiones e Información No Actualizada: Luego de terminado el proceso de inspección y generación del reporte, este es muy pocas veces revisado para la siguiente inspección y a su vez la información que se requiere esta diseminada en otros reportes (inspección, mantenimiento, u órdenes de cambio) lo cual hace que no sean fácilmente disponibles y que siempre se tenga la duda de cuál es la información más reciente respecto a la estructura.

6. Herramientas de Software: No existe un formato unificado para el procesamiento de los

datos. Archivos tipo Microsoft Word, Excel, bases de datos Access son creados para almacenar la información, pero sin seguir un estándar y metodología adecuada.

7. Personal Calificado: la adecuada preparación del personal para las tareas de inspección. Con frecuencia, esta actividad se percibe como un requisito burocrático en lugar de una tarea esencial dentro del ciclo de vida de la estructura.

3. Alcances de una Solución Automatizada

Por lo expuesto anteriormente, es imperativa la necesidad de contar con una solución automatizada para hacer que el proceso de inspección y evaluación de la capacidad operativa de nuestros puentes sea relevante y de utilidad para poder planificar programas de rehabilitación, y sobre todo garantizar la seguridad del público usuario.

Una solución automatizada a través de programas de cómputo debe ser capaz de sólo procesar la información obtenida pero también facilitar las tareas de inspección y tratar en lo posible eliminar la subjetividad de este proceso. Por lo tanto, el personal encargado de la inspección debe tener acceso a los datos históricos de la estructura y poder comparar in-situ el deterioro de los elementos estructurales (Shaffer *et al* 2011).

Proponemos a continuación los lineamientos generales que una solución automatizada para la inspección de puentes debe seguir:

1. Plataforma de Diseño Interoperable: el lenguaje de programación a utilizar en la solución de inspección debe ser capaz de interactuar con los diferentes sistemas de ordenadores en el mercado y sistemas operativos. En este sentido, una solución basada en una plataforma Web (HTML) es la más recomendable.

2. Base de Datos Común: se debe elegir una base de datos profesional que permita el acceso multiusuario y medidas de seguridad escalables, así como su acceso a través de redes de cómputo internas y externas. Microsoft SQL u Oracle son soluciones posibles para implementar.

3. Capacidad de Búsquedas Inteligentes: Al tener una base de datos común, ésta debe permitir la capacidad de búsquedas inteligentes (queries) con la se pueda filtrar y analizar información con rapidez. Debemos entonces crear un interfaz que permita fácilmente construir estas búsquedas inteligentes, ya que deben ser escritas en el lenguaje propio de la base de datos en uso. Ejemplo: La base de datos usando una búsqueda inteligente debe mostrar los pilares de puentes de una región que necesitan mantenimiento debido a la presencia de rajaduras.

4. Modular: la tarea de inspección de puentes no es solamente el proceso de verificar en campo las condiciones de nuestras estructuras, sino el pre y post procesamiento de la información obtenida. Se debe, por lo tanto, establecer un sistema modular en la solución de inspección. Se pueden definir estos módulos como Inspector (dedicado específicamente a las tareas de recolección de información), Administrador (creador y administración de las tareas de inspección, post procesamiento y toma de decisiones) y Mantenimiento (procesamiento y seguimiento de las órdenes de rehabilitación o mejoras a las estructuras).

5. Georeferenciación: la presencia de elementos de georeferenciación utilizando herramientas de posicionamiento global o enlazando la solución de inspección con Google Earth permitirá una eficiente visualización de la localización de la estructura y su entorno. Así el equipo de inspección puede planificar no sólo la mejor y eficiente ruta a seguir sino también las condiciones de acceso a la estructura.



Figura 01. Georeferenciación via Google Earth

6. Definición de Elementos y Plantillas de Inspección: la lista de los elementos a inspeccionar debe estar claramente definida y ser lo más granular posible dependiendo del tipo de puente a verificar. Es decir, no solo se debe reportar acerca de las condiciones en general de las vigas de un puente, sino cada una de ellas deben ser parte del reporte de inspección, la condición de cada uno de sus apoyos, espesor de éstos, posible exposición de los refuerzos de acero, etc. Estas exigencias deben estar plasmadas en plantillas de inspección dentro de la solución de software con estrictas reglas a seguir para asegurar que se esté reportando la información requerida.

Item	Condition Rating	Description
1. Wearing Surface (302)	7	Asphalt
2. Deck - Topside (301)	8V	Precast Rigid Frame
3. Deck - Underside	7	
4. Curbs (304)		Concrete
5. Median (304)		
6. Sidewalks (304)		
7. Parapets (303)	6	Stone masonry with concrete coping
8. Railing (303)		
9. Expansion Joints (305)		
10. Drainage System (314)		
11. Lighting Standards		
12. Utilities	7	Exposed pipe at end of south parapet

Figura 02. Planillas predefinidas de inspección

7. Acceso a Información Histórica: el inspector debe tener acceso en tiempo real a anteriores inspecciones de la estructura y así poder verificar

in-situ la progresión del deterioro de los elementos del puente.

8. Acceso a Estándares y Planos de Diseño: de la misma manera que se debe tener acceso a información histórica de inspección, se deberán proveer al inspector acceso a los estándares de diseño utilizados, y planos finales de construcción. Así se podrán verificar las condiciones y posibles variaciones en el uso del puente. Ejemplo: cambios en el patrón de tráfico de vehicular simple ha mayormente pesado, o flujo de vehículos.

9. Manejo de Archivos Fotográficos: cada elemento de inspección debe ser documentado fotográficamente y si es posible audio y video. Gracias a la fotografía digital y el acceso a tabletas se pueden capturar imágenes en tiempo real y a costo mínimo. Por lo tanto, se deben proveer herramientas que ayuden a organizar las imágenes o videos tomados y asignarlos a cada elemento de inspección.

10. Plataforma Móvil: la solución de inspección debe contemplar el uso de herramientas móviles tipo tableta, ya que, debido a las condiciones de campo, es muchas veces difícil y hasta peligroso manipular ordenadores portátiles. Esto representa también un reto por lo que debemos escoger una plataforma de programación sea ésta IOS (Apple) o Android (Google).

Figura 03. Planillas predefinidas de inspección en formato para tabletas tipo iPad

11. Verificación de Errores: la solución automatizada debe contemplar la verificación de errores que se puedan cometer al momento de

ingresar la información de la inspección, además de crear herramientas que prevengan éstos tales como menús de selección, de opciones y evitar en lo posible datos tipo texto libre.

12.Cálculo y Proceso de Información: la aplicación a desarrollar debe permitir realizar un cálculo inmediato de la capacidad operativa de la estructura durante el trabajo de campo y así tomar las medidas de urgencia necesaria si el caso lo amerite.

13.Generación de Reportes: teniendo los reportes un formato ya predefinido, su generación debe ser de manera automática y debido a lo voluminoso que éste pueda ser, su ensamblaje debe contener todos los elementos de compaginación, tabla de contenidos, gráficos, y resultados.

14.Facilidad de Uso: la calidad de las inspecciones y los reportes generados dependerá de la rápida adopción por los inspectores de la solución de cómputo. El interfaz de ingreso de información debe ser intuitivo y requerir el menor tiempo posible de capacitación y adecuarse a que la entrada de datos en campo siga el flujo normal de trabajo a la que el personal ya está acostumbrado.

15.Sensores Remotos: el proceso de inspección debe ser continuo en lo posible, por lo cual en estructuras importantes/vitales o que necesiten un monitoreo más detallado se deben incorporar la capacidad de procesar información de sensores remotos para la analizar las respuestas dinámicas de la estructura.

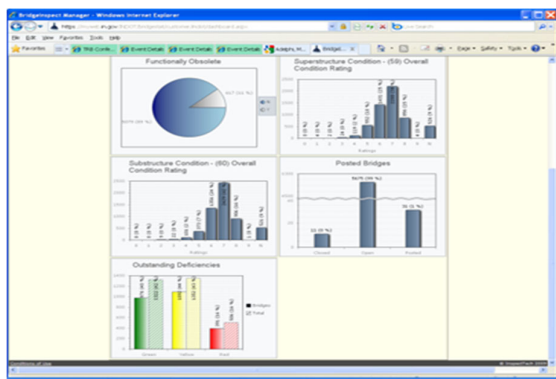


Figura 04. Herramientas Estadísticas para la Toma de Decisiones

16. Planificación y Seguimiento de Futuras Acciones: el uso de una base de datos permitirá a través de un módulo de Administración planear acciones futuras para una estructura en particular o a un grupo de éstas. Se deben incorporar herramientas estadísticas en la cual se pueda visualizar gráficamente tendencias, costos, asignación de personal, seguimiento de los trabajos de rehabilitación, etc.

4. Conclusiones

Las estructuras de puentes van presentando poco a poco el paso de los años, y vehículos cada vez más pesados transitan sobre ellas. Una inspección periódica de éstas es necesaria pero las actuales herramientas existentes hacen que este proceso sea muy lento y tedioso.

Las autoridades gubernamentales deben entender que el proceso de inspección no es sólo recolectar información y generar reportes sino analizar los datos obtenidos para que nos sirvan a tomar las decisiones apropiadas. Herramientas de automatización como AssetWise Inspections ayudarían a facilitar estos procesos para el beneficio de los propios usuarios al cual como autoridades o profesionales de ingeniería nos debemos.

Referencias

- [1] Shaffer, J.K, Schellase,M.C. (2011). *Zambia's New Structure Inspection and Management System*, International Bridge Conference. Pittsburgh, Pennsylvania. USA.
- [2] FHWA, Federal Highway Administration (2004), *National Bridge Inspection Standards* <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis.cfm>.
- [3] Bentley Systems (2023) *Bentley AssetWise Inspections System Manual*, Exton, Pennsylvania. USA.