

Programa de Ingeniería Estructural

Proyecto: LM-PIE-UP-I01-2020

INFORME DE INVESTIGACIÓN: TRABAJO REALIZADO EN PRUEBA *BWIM* EN DOS PUENTES SOBRE LA RUTA NACIONAL N°. 1

Preparado por:
Unidad de Puentes
LanammeUCR



San José, Costa Rica
Octubre, 2020



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Página intencionalmente dejada en blanco

INFORME DE INVESTIGACIÓN

1. Informe: LM-PIE-UP-I01-2020		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de investigación: Trabajo realizado en prueba <i>BWIM</i> en dos puentes sobre la Ruta Nacional n°. 1		4. Fecha del Informe Octubre, 2020
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias El informe fue elaborado por la Ing. Hellen Garita Durán, quién durante la redacción formaba parte de la Unidad de Puentes		
7. Resumen <i>Este informe sobre el trabajo realizado para la ejecución de la técnica BWIM (Bridge Weigh In Motion) en los puentes sobre el río Desjarretado y sobre el río Jabillo, ubicados en la Ruta Nacional n°. 1, es un producto de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural - LanammeUCR, que tuvo como objetivo generar experiencias sobre la técnica BWIM en el personal y realizar transferencia de conocimiento a ingenieros del MOPT y CONAVI, todo esto en el marco de las competencias asignadas mediante el Artículo 6 de la Ley 8114.</i>		
8. Palabras clave Puentes, Ruta Nacional n°. 01, río Desjarretado, río Jabillo, BWIM.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 40
12. Elaboración, revisión y aprobación por: Ing. Esteban Villalobos Vega Coordinador Unidad de Puentes	13. Revisión y aprobación por: Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador Programa de Ingeniería Estructural	13. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Página intencionalmente dejada en blanco

INFORME DE INVESTIGACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	IMPORTANCIA	7
3.	ANTECEDENTES	8
4.	OBJETIVOS.....	10
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
5.	METODOLOGÍA	10
5.1.	PLANEACIÓN DE LA PRUEBA.....	10
5.2.	EJECUCIÓN DE LA PRUEBA.....	11
5.3.	ETAPAS DE LA PRUEBA Y DURACIÓN	16
5.4.	METODOLOGÍA PARA EXTRACCIÓN DE PARÁMETROS	17
6.	RECOMENDACIONES PARA FUTURAS PRUEBAS.....	17
7.	CONCLUSIONES	19
8.	BIBLIOGRAFÍA	20
9.	ANEXO A	22
10.	ANEXO B	39



INFORME DE INVESTIGACIÓN

Página intencionalmente dejada en blanco

INFORME DE INVESTIGACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Este informe de investigación trata acerca de la evaluación del trabajo sobre la ejecución de una prueba piloto de pesaje de vehículos pesados en movimiento o técnica BWIM (siglas en inglés para “*Bridge Weigh In Motion*”) en los puentes sobre el río Desjarretado y río Jabillo, los cuales se encuentran dentro del proyecto de ampliación del tramo entre Barranca y Cañas de la Ruta Nacional n°. 1, los días 17 y 18 de diciembre del 2019. El trabajo realizado es un producto de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural - LanammeUCR, y tuvo el objetivo de generar experiencias sobre la técnica BWIM en el personal de la institución, así como realizar transferencia de conocimiento a ingenieros del MOPT y CONAVI, todo esto en el marco de las competencias asignadas mediante el Artículo 6 de la Ley 8114.

El LanammeUCR, a través de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural, en conjunto con la Escuela de Ingeniería Civil (EIC) a través de los profesores Sergio Lobo Aguilar y Yi Cheng Liu Kuan, han establecido durante los últimos tres años un contacto cercano con la Universidad de Connecticut (UCCON), EUA. Dicho contacto se ha propuesto para cooperación en temas de interés mutuo como lo es el BWIM. Como parte de esta colaboración conjunta, se realizó una aplicación con UCREA (siglas para el Espacio Universitario de Estudios Avanzados de la Universidad de Costa Rica) para obtener fondos para que el profesor Richard Christenson y el estudiante de doctorado Pablo Agüero Barrantes, ambos de la Universidad de Connecticut, pudieran viajar al país con el equipo requerido para realizar la prueba piloto de BWIM.

Este documento se crea con el objetivo de plasmar el esfuerzo realizado por el personal del Programa de Ingeniería Estructural y que sirva como referencia para la coordinación de la logística de futuras pruebas.

2. IMPORTANCIA

La relevancia de la actividad radica en que mediante este tipo de pruebas se puede caracterizar el flujo vehicular que transita por una carretera sin necesidad de contar con una estación de pesaje, es decir, se puede conocer el peso de los vehículos que transitan por el puente y a partir de este dato, generar acciones como multas de tránsito en caso de vehículos con mayor peso del permitido según la respectiva ley. El sistema está conformado por sensores

INFORME DE INVESTIGACIÓN

(en este caso galgas extensométricas en una configuración tipo roseta) y un sistema de procesamiento de datos. Los sensores pueden instalarse en el puente de forma permanente o temporal. El sistema, al poder tener una instalación temporal, permite que se emplee en diferentes puentes y con ello caracterizar el flujo de diferentes rutas. Así, la Administración tendrá información valiosa para la correcta toma de decisiones en cuanto a la gestión de sus activos, que no es posible mediante la instalación de estaciones de pesaje estáticas permanentes por el costo de comprar terrenos en diferentes rutas, realizar la infraestructura necesaria, tener personal atendíéndolas, entre otros.

Por otra parte, las estaciones de pesaje estáticas permanentes tienen la desventaja de que son susceptibles a la evasión y además su operación es lenta, lo que pueden generar colas y disminuciones en los niveles de servicio. En Costa Rica no se ha podido establecer con claridad la cantidad necesaria y ubicación de estaciones debido a que existe un faltante de información sobre el transporte de mercancías (Allen et al., 2014). La implementación de este otro tipo de soluciones no tiene esos problemas, ya que se instala en la superestructura del puente y no requiere que el tránsito se detenga o disminuya la velocidad.

Durante la prueba se contó con la presencia de personal del CONAVI y del MOPT para que pudieran presenciar el proceso de instalación y extracción de información, haciendo la salvedad de que esto también fue posible por contar con personal altamente calificado y con experiencia para la ejecución de la prueba, como lo son el profesor Richard Christenson de la Universidad de Connecticut (UCCON), y el profesor Sergio Lobo de la EIC de la UCR.

3. ANTECEDENTES

La técnica BWIM proviene de WIM (*“Weigh In Motion”* por su nombre en inglés) que consiste en colocar sistemas en la estructura de pavimento para poder pesar los vehículos que transitan por la vía. WIM tiene la desventaja de que está asociada con altos costos debido a que requiere de excavaciones o cortes en la estructura del pavimento para poder colocar el sistema, lo que afecta negativamente su desempeño presente y futuro. Además, se deben realizar cierres totales o parciales en las vías para su instalación (O’Brien et al., 1999; Wall et al., 2009; Christenson y Motaref, 2016).

INFORME DE INVESTIGACIÓN

El método BWIM tiene sus inicios en 1979 cuando el profesor Fred Moses demostró que al colocar sensores en puentes se puede conseguir la misma información obtenida de la técnica WIM, utilizando galgas extensiométricas en la superficie inferior de la superestructura (Moses, 1979). Se han propuesto desde entonces, métodos basados en la medición de distintos parámetros como deformaciones unitarias, desplazamientos o aceleraciones (Lobo & Christenson, 2019). Asimismo, se han propuesto diferentes técnicas de procesamiento de los datos basadas en análisis de líneas de influencia, redes neuronales, algoritmos genéticos y ondículas (Ojio y Yamada, 2002; O'Brien et al. 2008; Muñoz et al., 2011; Hitchcock et al. 2012; Lechner et al., 2013).

Como parte de sus estudios doctorales en la Universidad de Connecticut, Lobo (2018) desarrolló un método de análisis de datos que se basa en mediciones de deformaciones unitarias por cortante, para puentes en servicio con vigas de acero. La instrumentación consiste en rosetas ubicadas en dos puntos de la estructura de vigas de acero. En ese estudio se validó el método a partir de mediciones realizadas en un puente; se obtuvo la línea de influencia a cortante experimental y teórica, que al ser comparadas se obtenía una respuesta similar, dando validez al método.

En Costa Rica, existe un único antecedente del método BWIM, realizado en un proyecto final de graduación de la EIC de la UCR, en donde se utilizó un puente tipo Bailey en la Ruta Nacional n°. 106, Heredia - Valencia (Carillo, 2019). En la ejecución de la prueba se utilizaron 3 cámaras digitales y posteriormente se realizó un análisis de imágenes digitales para medir la línea de influencia del camión con características conocidas y de otros camiones que transitaban por el puente durante la prueba. Además, se empleó un modelo analítico en 2D y se calibró de acuerdo con las mediciones de deformaciones estáticas, y posteriormente ese modelo se utilizó para la predicción de carga de diferentes tipos de vehículos según las deformaciones medidas.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad de realizar BWIM en el país por medio de una prueba piloto.

4.2. Objetivos específicos

- a) Involucrar al Programa de Ingeniería Estructural en la planeación y ejecución de una prueba piloto de BWIM.
- b) Mostrar a la Administración la ejecución de la prueba, así como las ventajas y retos con respecto a otras modalidades.
- c) Plasmar la experiencia en la labor realizada para que sirva de referencia en futuras pruebas.
- d) Proporcionar recomendaciones generales para futuras experiencias.

5. METODOLOGÍA

5.1. Planeación de la prueba

Previo a la realización de la prueba, se analizó cuales puentes podrían ser empleados para la ejecución de la prueba. Para ello, el coordinador de la Unidad de Puentes (UP) propuso algunos puentes y proporcionó información como planos, fotos, informes y estudios anteriores. Los puentes propuestos se encontraban ubicados estratégicamente en el tramo en intervención entre Limonal y Cañas de la Ruta Nacional n°. 1 y eran puentes que iban a ser sustituidos, lo cual daba la ventaja de que se podían hacer ciertos trabajos sobre ellos que no afectaban su durabilidad a futuro. La situación hubiera sido diferente si los puentes no hubieran estado en esta situación, ya que adicionalmente se hubieran tenido que realizar reparaciones a los sistemas de protección de pintura. El profesor Christenson aprobó 3 puentes de los cuales finalmente se utilizaron 2:

- Puente sobre el río Desjarretado: vigas de acero simplemente apoyadas de un tramo.
- Puente sobre el río Jabilla: vigas de concreto reforzado continuas de sección variable de tres tramos.

El coordinador de la UP solicitó los permisos necesarios a la Administración (ver Anexo B) e invitó a personal del MOPT y CONAVI para que participaran en la ejecución de la prueba.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

También se invitó a la prueba a funcionarios del Centro de Transferencia de Tecnología (CTT) del LanammeUCR, para divulgar la experiencia en redes sociales y se coordinó la reserva de choferes y vehículos del LanammeUCR.

5.2. Ejecución de la prueba

Con respecto a las labores realizadas para poder extraer los datos, a continuación, se detalla el rol desempeñado por los colaboradores.

1. El profesor Christenson y Pablo Agüero, trajeron el equipo de medición (sensores, computadoras y programas para extraer datos) de la UCCON.
2. Antes de la prueba se realizaron las siguientes labores:
 - a. Se contrató la vagoneta (camión con características conocidas) con presupuesto del LanammeUCR y se coordinó con la Municipalidad de Cañas para el préstamo del material, para que la vagoneta transitara cargada por el puente. Esta vagoneta se sumó a otro camión de características conocidas propiedad del LanammeUCR
 - b. Se realizó la revisión de los sensores y demás equipo, en las instalaciones del LanammeUCR.
 - c. Se buscaron diferentes pegamentos para adherir los sensores a las vigas y se realizó la prueba de uno comercial. El fabricante del equipo define un tipo de pegamento a utilizar, pero ese no se logró conseguir en el mercado nacional. Fue posible conseguir uno con especificaciones similares que no había sido probado antes de la prueba y no funcionó en la ejecución, por lo que finalmente se utilizó otro con especificaciones distintas, con el cual si se tenía experiencia en su uso.
 - d. Se prepararon todas las herramientas adicionales que debían transportarse al puente (cámaras, equipo de seguridad, equipo para limpieza de vigas de puente, equipo de acceso, entre otras).
3. Durante la prueba las labores se repartieron de la forma en que se muestra en la Tabla 1. Además, se contó con la presencia de dos técnicos del Laboratorio de Evaluación de Pavimentos del LanammeUCR que se encargaron de transportar al sitio parte del equipo utilizado (balanzas, escaleras, planta generadora de energía) y de transitar el camión del LanammeUCR por el puente. Como se comentó en el Inciso 5.2.2a, adicional al camión del LanammeUCR se contrató una vagoneta cargada de material (ver Figura 5), para que

INFORME DE INVESTIGACIÓN

de igual manera transitara el puente. Cabe aclarar que la vagoneta superaba el peso del camión del LanammeUCR y con esta se aseguraba la extracción de datos del puente para poder cumplir con los objetivos de la prueba, ya que de acuerdo con la experiencia del profesor Christenson, es deseable que se cuente con vehículos más pesados para garantizar que las mediciones realizadas con sensores de deformación unitaria no sean perjudicadas por el ruido ambiental y el ruido electrónico de los instrumentos.

Tabla 1. Funciones que cumplió cada colaborador durante la prueba.

Institución	Nombre	Función durante la prueba
UCCON	Richard Christenson	Coordinación e inspección de que la toma de datos se estuviera realizando apropiadamente. Realización de pruebas adicionales con micrófonos colocados bajo el puente.
EIC-UCR	Sergio Lobo Aguilar	Extracción y almacenamiento de los datos.
UCCON	Pablo Agüero Barrantes	Instalación de sensores (ver Figura 1).
LanammeUCR	Hellen Garita Durán	Coordinación general y ayuda en prueba con micrófonos colocados bajo el puente.
LanammeUCR	Esteban Villalobos Vega	Logística. Presentación de la prueba a personal del MOPT y del CONAVI. Documentación de la prueba para su difusión.
LanammeUCR	Mauricio Araya Con	Coordinación con choferes de camiones de peso conocido.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1. Funciones que cumplió cada colaborador durante la prueba (*continuación*).

LanammeUCR	Sergio Álvarez González	Conteo de veces en que el camión de peso conocido pasaba sobre el puente y aviso para que continuara transitando (ya que antes debía asegurarse que se hubiera guardado la información de la corrida anterior).
LanammeUCR	María José Rodríguez Roblero	Conteo de veces en que el camión de peso conocido pasaba sobre el puente y aviso para que continuara transitando (ya que antes debía asegurarse que se hubiera guardado la información de la corrida anterior).
LanammeUCR	Luis Guillermo Vargas Alas	Pesaje de camiones (ver Figura 3) y grabación de videos de tránsito sobre el puente.



Figura 1. Colocación de sensores en vigas del puente sobre el río Desjarretado.

INFORME DE INVESTIGACIÓN



Figura 2. Sensores ya colocados en las vigas del puente sobre el río Jabilla.



Figura 3. Pesaje de camión del LanammeUCR.

INFORME DE INVESTIGACIÓN



Figura 4. Ejecución de la prueba con camión del LanammeUCR.



Figura 5. Pesaje de vagoneta cargada contratada para transitar por el puente.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

También se contó con la presencia de personal del MOPT y del CONAVI, invitados por el LanammeUCR con el fin de transferir el conocimiento generado de la experiencia.

4. Posterior a la prueba, siguió una labor de procesamiento de los datos que aún se encuentra en proceso y creación de informe final. Esta labor la realiza Pablo Agüero en la UCONN.

5.3. Etapas de la prueba y duración

En la Tabla 2 se muestra la descripción de las etapas del ensayo y su duración aproximada.

Tabla 2. Etapas de la prueba y duración.

Etapa	Descripción	Duración aproximada
1	Colocación de sensores, incluyendo colocación de escaleras, limpieza de las vigas, remoción de pintura de las vigas y colocación de sensores con pegamento. En esta etapa existieron algunos problemas con el pegamento que era más similar al de la especificación, por lo que hubo que utilizar otro pegamento diferente al especificado pero que si había sido probado con anterioridad.	4 horas
2	Pruebas de equipo de extracción de información.	1,5 horas
3	Inicio de recolección de datos. Para ello el camión se pasó por el puente al menos 20 veces. Durante este tiempo también se estaba recolectando información del resto de los vehículos y se estaba grabando videos para poder relacionar los resultados experimentales con las mediciones de la estación de pesaje.	2,5 horas

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Tabla 2. Etapas de la prueba y duración (*continuación*).

4	Remoción de sensores de las vigas del puente y guardado de equipo y herramientas. Se debe considerar que la prueba se ejecutó en puentes que serían intervenidos o sustituidos por lo que no se volvió a pintar las secciones en donde se removió la pintura, pero de ejecutarse en puentes en operación y que no van a ser intervenidos, debe pintarse la sección donde se colocan los sensores nuevamente.	1 hora
---	--	--------

Durante la tarde del primer día se realizó la prueba en el puente sobre el río Desjarretado en la Ruta Nacional nro. 1, ubicado en las cercanías de Limonal, Guanacaste, con el camión del LanammeUCR. Debido a la complicación tanto en la colocación de los sensores y como en que el equipo tomara datos correctamente, las pruebas se continuaron al siguiente día en el mismo puente, agregando la medición de datos con la vagoneta contratada. Por ello se dejaron durante la noche los sensores colocados en el puente.

A las 10:30 a.m. aproximadamente, se realizó el traslado de todo el equipo y personal al puente sobre el río Jabilla en la Ruta Nacional nro. 1, ubicado cerca de Cañas, Guanacaste. Cabe indicar que ya un grupo de colaboradores había ido a este segundo puente a colocar los sensores, lo que facilitó el proceso.

5.4. Metodología para extracción de parámetros

La metodología de la extracción de parámetros se explica a detalle en el documento “Informe de actividades UCREA *Fellows*” realizado por Lobo (2020) que se adjunta como Anexo A. Específicamente se debe referir a la Sección 3 de dicho informe.

6. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS PRUEBAS

Debido a que ya se cuenta con una primera experiencia exitosa, en la ejecución de futuras pruebas se recomienda mejorar en los siguientes puntos:

- Realizar pruebas de equipo antes de ir al sitio y con suficiente antelación para poder resolver cualquier inconveniente.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

- Realizar pruebas de herramientas antes de ir al sitio. Para este caso en particular, es muy importante probar el pegamento que se vaya a utilizar, para cerciorarse de que funcione inclusive ante cambio de las condiciones meteorológicas.
- También, hay que considerar que puede ser difícil conseguir el pegamento señalado en las especificaciones. En este caso se utilizó un pegamento similar que no funcionó, mientras que otro más asequible y con especificaciones diferentes sí funcionó.
- Realizar reuniones de personal antes de ir al sitio, para que todas las personas conozcan en qué consiste la prueba y cuáles son sus funciones antes, durante y después de la prueba. Esto por un asunto de orden y para fundamentar la respectiva justificación del trabajo de todos los involucrados, porque además, la prueba puede atraer a otras partes interesadas.
- Se debe considerar que en este caso la prueba fue exitosa debido a que se contó con suficiente personal, por lo que se podría pensar en mantener un grupo de trabajo de un tamaño similar.
- Establecer comunicación previa con los encargados de la estación de pesaje, para saber qué datos se podrían corroborar contra las mediciones realizadas.
- Aunque se utilicen trípodes para sujetar las cámaras, el tránsito puede circular con velocidad suficiente como para botar las cámaras, por lo que siempre debe estar alguien pendiente de estos equipos.
- La coordinación del camión de peso conocido puede realizarse por medio de la municipalidad respectiva. En este caso la Municipalidad de Cañas colaboró con el préstamo del material para llenar la vagoneta.
- En los resultados preliminares, se evidencia que el camión del LanammeUCR cargado logró generar un efecto suficiente para obtener los parámetros necesarios para la identificación del flujo vehicular. Se recomienda dar seguimiento a este dato en la publicación sobre la prueba que se realizará en la revista Métodos y Materiales del LanammeUCR. Esto evitaría tener que contratar un camión más pesado. Tomar en cuenta que esto puede variar dependiendo de la rigidez global de la estructura empleada para la prueba.

El producto final de esta prueba es un documento técnico, que analiza la respuesta del puente, obtiene los pesos de los vehículos que transitaron durante la toma de datos, y compara

INFORME DE INVESTIGACIÓN

esos pesos con los datos de la estación de pesaje. El documento está siendo elaborado por el Ing. Pablo Agüero Barrantes, como parte de la investigación realizada, en sus estudios de doctorado en la Universidad de Connecticut y posteriormente será publicado en la revista Métodos y Materiales del LanammeUCR. Adicionalmente, un estudiante de licenciatura de la EIC de la Universidad de Costa Rica ejecutará un proyecto relacionado con los datos de la prueba, bajo la dirección del profesor Sergio Lobo Aguilar.

7. CONCLUSIONES

- Se logró aprender sobre el proceso de instalación y ejecución de la prueba, y que la misma no afecta el tránsito vehicular.
- Se tiene una primera experiencia exitosa, para ser tomado en cuenta en el futuro e implementar este ejercicio en otros puentes.
- Se logró transferir el concepto de las pruebas BWIM y conocimiento adquirido durante la prueba, a funcionarios con rango jerárquico, para la de toma de decisiones, específicamente a personal del MOPT y CONAVI.
- El documento técnico sobre la prueba se está realizando y será publicado en la revista Métodos y Materiales del LanammeUCR.
- Es importante contar con profesionales con experiencia en la realización de este tipo de pruebas, por lo que la colaboración con otras instancias de la Universidad de Costa Rica y otras universidades a nivel internacional es importante y clave para el éxito y la continuidad del proyecto.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, J., Vargas, C., & Hernández, H. (2014). *Determinación de la cantidad y ubicación de estaciones de pesaje en la Red Vial Nacional de Costa Rica*. LanammeUCR.
- Carrillo, W. (2019). *Prueba piloto de un sistema de pesaje dinámico basado en la deflexión vertical de un puente Bailey*. Trabajo final de graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Christenson, R. E., & Motared, S. (2016). *Dual Purpose Bridge Health Monitoring and Weigh-In-Motion (BWIM) System*. Report Number CT-2265-F-15-7, Connecticut Department of Transportation.
- Hitchcock, W. A., Uddin, N., Sisiopiku, V., Salama, T., Kirby, J., Zhao, H., Richardson, J. (2012). *Bridge Weigh-In-Motion System Testing and Evaluation*. Report Number 07212, University Transportation Center of Alabama.
- Lechner, B. M., Lieschnegg, O., Mariani, O., & Pircher, M. (2013). Detection of Vehicle Data in a Bridge Weigh-In-Motion System. *Modern Traffic and Transportation Engineering Research*, 2(16), 153-161.
- Lobo, S. (2020). Realización de ensayo piloto de tecnología aplicada a puentes para la caracterización de vehículos pesados en Costa Rica (Ensayos BWIM). *UCREA FELLOWS*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Lobo, S., & Christenson, R. E. (2018). A Simplified Shear-Strain Based Bridge Weigh-In-Motion Method for In-Service Highway Bridges. *Revista Métodos y Materiales*, 8.
- Lydon, M., Taylor, S. E., Robinson, D., Mufti, A., & O'Brien, E. J. (2015). Recent Developments in Bridge Weigh-In-Motion (BWIM). *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6, 69-81.
- Moses, F. (1979). Weigh-In-Motion System Using Instrumented Bridges. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Transportation Engineering Journal of ASCE*, 105, 233-249.
- Muñoz, E., Gómez, D., Núñez, F., & Florez, C. (2011). Determinación de cargas dinámicas de camiones pesados que transitan en un puente basado en algoritmos genéticos e instrumentación. *Revista Ingeniería y Construcción*, 26, 321-352.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

- O'Brien, E. J., Znidaric, A., & Dempsey, A. T. (1999). Comparison of Two Independently Developed Bridge Weigh-In-Motion Systems. *International Journal of Vehicle Design*, 6, 147-160.
- O'Brien, E. J., Znidaric, A., & Ojio, T. (2008). Bridge Weigh-In-Motion Latest Developments and Applications. *World Wide International Conference on Heavy Vehicles*, 25-38.
- Ojio, T., & Yamada, K. (2002). Bridge Weigh-In-Motion System Using Stringer of Plate Girder Bridges. *Pre-proceedings of the Third International Conference on Weigh-In-Motion*, 209-218.
- Wall, C. J., Christenson, R. E., McDonnell, A. M., & Jamalipour, A. (2009). *A Non-Intrusive Bridge Weigh-In-Motion System for a Single Span Steel Girder Bridge Using Only Strain Measurements*. Report Number CT-2251-3-09-5, Connecticut Department of Transportation.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

9. ANEXO A

Informe de actividades

Realización de ensayo piloto de tecnología aplicada a puentes para la caracterización de vehículos pesados en Costa Rica



INFORME DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ACTIVIDADES

UCREA FELLOWS

*REALIZACIÓN DE ENSAYO PILOTO DE TECNOLOGÍA APLICADA A
PUENTES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE VEHÍCULOS
PESADOS EN COSTA RICA (ENSAYOS BWIM)*



Preparado por:

Ing. Sergio Lobo A., PhD.

Escuela de Ingeniería Civil

Enero, 2020



INFORME DE INVESTIGACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	3
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. Metodología.....	4
3.1. Vehículos de características conocidas	5
3.2. Puentes utilizados para las pruebas	6
3.3. Instrumentación	9
3.4. Calibración con vehículos de características conocidas	11
4. Resultados esperados	14
5. Referencias	15



INFORME DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

Las estaciones de pesaje estáticas permanentes se utilizan para obtener el peso total y el peso por eje de los vehículos pesados que transitan por las carreteras. Sin embargo, este tipo de estaciones son susceptibles a evasión, y su operación es lenta, lo que puede llegar a ocasionar congestionamientos en sus alrededores. Además, en nuestro país no se ha podido establecer con claridad la cantidad de estaciones necesarias y las ubicaciones de las mismas, debido a que no existe información detallada acerca del transporte de mercancías (Allen et al., 2014).

En respuesta a las limitaciones de las estaciones estáticas, en el pasado en otros países han surgido sistemas que detectan el peso de los vehículos mientras circulan por las carreteras, a los cuales se les denomina Weigh-In-Motion (WIM). A pesar de ser más prácticos y baratos de instalar, presentan algunas dificultades. Por ejemplo, estos sistemas pueden requerir que se realicen excavaciones o cortes en la estructura del pavimento, con lo cual se les inducen planos de falla que afectan negativamente su desempeño. También, las deformaciones o daños que pueden existir en los pavimentos reducen la precisión de los resultados, y típicamente involucran el cierre parcial o total de las vías para su instalación (O'Brien et al., 1999; Wall et al., 2009; Christenson y Motaref, 2016).

Ante este escenario, en 1979 el profesor Fred Moses demostró que se pueden colocar sensores en los puentes para obtener la misma información provista por los sistemas WIM, dando origen a los sistemas Bridge Weigh-In-Motion (Moses, 1979). Desde entonces, se han propuesto métodos BWIM basados en la medición de diferentes parámetros de respuesta de los puentes, tales como deformaciones unitarias, desplazamientos y aceleraciones (Lobo y Christenson, 2019). También se han propuesto distintas técnicas de post-procesamiento, como por ejemplo métodos basados en líneas de influencia, redes neuronales, algoritmos genéticos y ondículas (conocidas en inglés como "wavelets"), entre otros (Ojio y Yamada, 2002; O'Brien et al. 2008; Muñoz et al., 2011; Hitchcok et al. 2012; Lechner et al., 2013).

En la literatura técnica existe evidencia de que los sistemas BWIM tienen niveles de precisión similares a los WIM (Lydon et al., 2015), pero presentan la ventaja de que no requieren intervenir la infraestructura y son más discretos, con lo cual se reduce el potencial de evasión del pesaje. Además, se puede aprovechar la instrumentación del puente para realizar monitoreo de la salud estructural del puente (Christenson y Motaref, 2016). Los métodos BWIM han sido utilizados con éxito en Australia, Canadá, Colombia, Eslovenia, Estados Unidos, India, Irlanda y Japón, entre otros (O'Brien et al., 2008; Muñoz et al., 2011; Christenson y Motaref, 2016). A pesar de ser una tecnología prometedora, existen aún múltiples obstáculos que deben vencer los métodos BWIM. Entre ellos, se puede mencionar la presencia de múltiples vehículos pesados en el puente al momento de la medición y cambios de carril, entre otros. Existe entonces la necesidad de ampliar la investigación en este campo. No obstante, la información proporcionada por los sistemas BWIM puede ser utilizada para brindar a la administración información que informe sobre la realidad del parque de vehículos pesados que transitan en las calles de nuestro país.



INFORME DE INVESTIGACIÓN

En Costa Rica, el único antecedente de la utilización de métodos BWIM se limita a un proyecto final de graduación de la EIC, en donde se realizó una prueba piloto sobre un puente tipo Bailey en la Ruta Nacional 106, Heredia - Valencia (Carillo, 2019). En esta prueba, se identificaron 3 vehículos pesados. A pesar de que se encontraron dificultades debido al tipo de puente utilizado, se encontraron diferencias menores a 10% con respecto a un camión de calibración. En dicho estudio, no se pudo corroborar la confiabilidad del método puesto que no se contrastó con mediciones en balanzas estáticas.

La Universidad de Costa Rica, a través de la Escuela de Ingeniería Civil y el LanammeUCR, ha establecido durante los últimos tres años un contacto con la Universidad de Connecticut. Dicho contacto se ha propuesto para cooperación en temas de interés mutuo, entre los cuales se encuentra el BWIM. Como parte de esta colaboración conjunta, se realizó una aplicación con UCREA para obtener fondos para que el profesor Richard Christenson y el estudiante de doctorado Pablo Agüero pudieran venir al país a realizar una prueba piloto de BWIM. De esta forma, en diciembre de 2019, se realizaron pruebas BWIM en 2 puentes de la Ruta Nacional No.1, como se detalla a continuación.

2. Objetivos

2.1. *Objetivo general*

Realizar una prueba piloto BWIM en donde se puedan comparar las mediciones realizadas en un puente, con respecto a las obtenidas en una estación de pesaje estática, utilizando metodologías basados en deformaciones unitarias por flexión y por cortante, de manera tal que se pueda aprovechar de la experiencia para poder realizar futuras mediciones BWIM en otras rutas nacionales.

2.2. *Objetivos específicos*

1. Calibrar el método BWIM a partir de dos vehículos pesados con características conocidas, a saber: peso total, peso por eje y distancia entre ejes.
2. Identificar los porcentajes de error que se obtienen al utilizar este método BWIM con respecto a las mediciones realizadas por estaciones estáticas permanentes.
3. Identificar las posibles limitaciones del método
4. Investigar formas de subsanar dichas limitaciones, de manera que este método se pueda realizar de forma rutinaria en Costa Rica para complementar la información obtenida en estaciones estáticas.

3. Metodología

Los ensayos de esta prueba piloto se realizaron los días 17 y 18 de diciembre de 2019. Estos ensayos están fundamentados en dos técnicas BWIM: 1) método basado en deformaciones unitarias por flexión que utilizan el concepto de área de influencia, descrito por Wall et al. (2016) y 2) método simplificado de cortante, propuesto por Lobo-Aguilar y Christenson (2019).

INFORME DE INVESTIGACIÓN

3.1. Vehículos de características conocidas

Para poder calcular los pesos de los vehículos pesados que transitan sobre el puente, es necesario contar con al menos un vehículo para el cual se conoce su peso total, el peso de cada eje y la distancia entre ellos. Esta medición se realiza una única vez con instrumentos convencionales estáticos, y se utiliza para poder calibrar el método.

En esta prueba piloto, se utilizaron dos vehículos de características conocidas, como se muestra en las Figura 1. El vehículo de la Figura 1a) es un camión de carga liviana de dos ejes, que fue proporcionado por el LanammeUCR, mientras que el de la Figura 1b), corresponde a una vagoneta de transporte de materiales de construcción de tres ejes, que fue contratado específicamente para la realización de estas pruebas. En este informe, al vehículo que pertenece al LanammeUCR se le denomina "CAM" y al vehículo que fue contratado se le denomina "VAG".



Figura 1. a) Vehículo proporcionado por el LanammeUCR b) Vehículo contratado para la prueba.

Para cada uno de ellos, la distancia entre los ejes se midió con cinta métrica, y el peso de cada eje se obtuvo por medio de balanzas portátiles con el que cuenta el LanammeUCR. Estas balanzas son marca Haenni, modelos BZ-46 y BZ-47 La Figura 2 ejemplariza el proceso de medición del peso de cada eje. Cabe mencionar que el equipo del LanammeUCR es capaz de medir el peso que transmite cada llanta o conjunto de llantas de cada vehículo, de manera que el consolidado por eje se obtiene simplemente como la suma de las llantas correspondientes. Los valores obtenidos mediante este proceso se muestran en la Figura 3.

INFORME DE INVESTIGACIÓN



Figura 2. a) Ejemplo de la medición del peso de los vehículos en el sitio. B) a

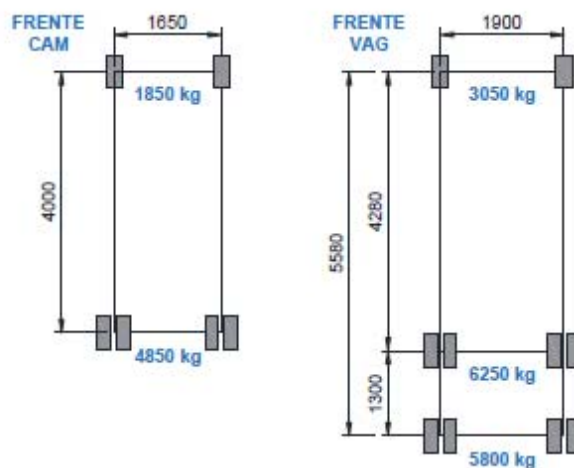
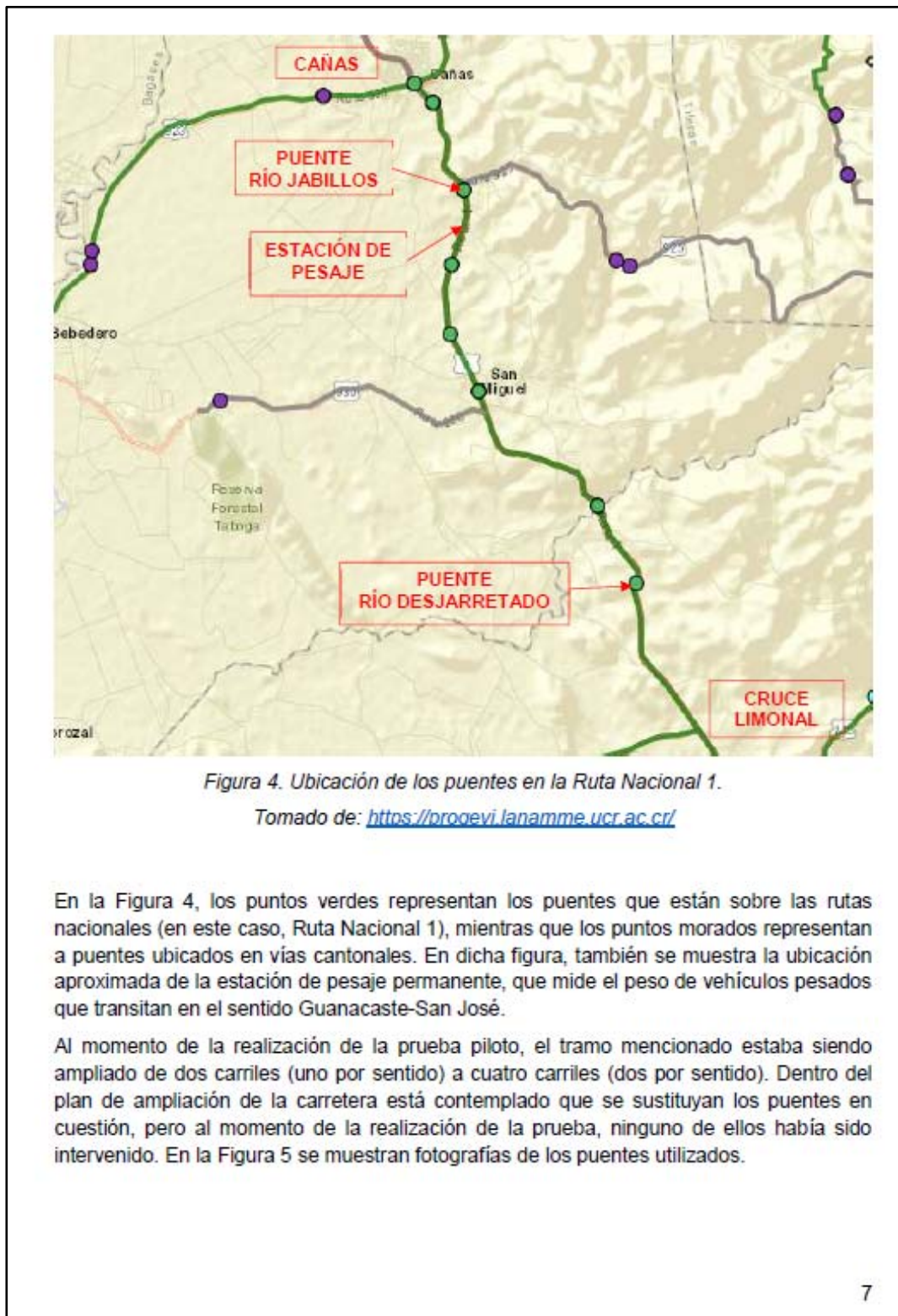


Figura 3. Distribución de los pesos por eje para cada camión de propiedades conocidas.
Las distancias se muestran en milímetros.

3.2. Puentes utilizados para las pruebas

Para la realización de la prueba piloto, se utilizaron los puentes sobre el Río Desjarretado y sobre el Río Jabillo, Ruta Nacional 1. Dichos puentes se ubican en el tramo que está entre el cruce de Limonal y la ciudad de Cañas, como se muestra en la Figura 4.

INFORME DE INVESTIGACIÓN



INFORME DE INVESTIGACIÓN



Figura 5. a) Puente sobre el Río Desjarretado b) Puente sobre el Río Jabillos

El puente sobre el Río Desjarretado es un puente de acero de un solo tramo y está simplemente apoyado, mientras que el puente sobre el Río Jabillos tiene tres tramos con continuidad en sus pilas y es de concreto reforzado. Las características más relevantes de dichos puentes se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características principales de los puentes utilizados en los ensayos.

Característica	Puente sobre Río Desjarretado	Puente sobre Río Jabillos
Año de construcción	1951	1955
Cantidad de tramos	1	3
Longitud total	27.4 m	38.40 m
Longitud del tramo más largo	27.4 m	15.24 m
Ancho de calzada	7.31 m	7.31 m
Tipo de superestructura	Vigas de acero con tablero de concreto reforzado	Vigas de concreto reforzado, de sección variable, con tablero de concreto reforzado
Tipo de bastiones	Muros de concreto reforzado	Muros de concreto reforzado
Tipo de pilas	No aplica	Muros de concreto reforzado

INFORME DE INVESTIGACIÓN

3.3. Instrumentación

Los puentes fueron instrumentados con el equipo perteneciente al profesor Richard Christenson de la Universidad de Connecticut. Antes de instalar los sensores, las superficies de las vigas de los puentes fueron limpiadas y preparadas para instalar los sensores de deformación unitaria y los acelerógrafos. Luego, los mismos fueron adheridos a dichas superficies con pegamento. Este proceso tomó aproximadamente unas dos horas en el primer puente. En esta prueba piloto, se estima que el tiempo de instalación se incrementó debido a la inexperiencia de los operarios y debido a que el pegamento utilizado fue de una calidad diferente al que está recomendado por el fabricante.

El equipo utilizado es fabricado por la compañía BDI Inc., de Colorado, Estados Unidos, y se muestra en la Figura 6. Se utilizaron 12 sensores de deformación unitaria (Figura 6a)) y 4 acelerómetros (Figura 6b)), los cuales se conectaron a cuatro nodos de adquisición de datos tipo STS3 (Figura 6c)). Estos nodos envían la información de forma inalámbrica a la computadora portátil (Figura 6d)), que cuenta con el software necesario para procesar la información primaria

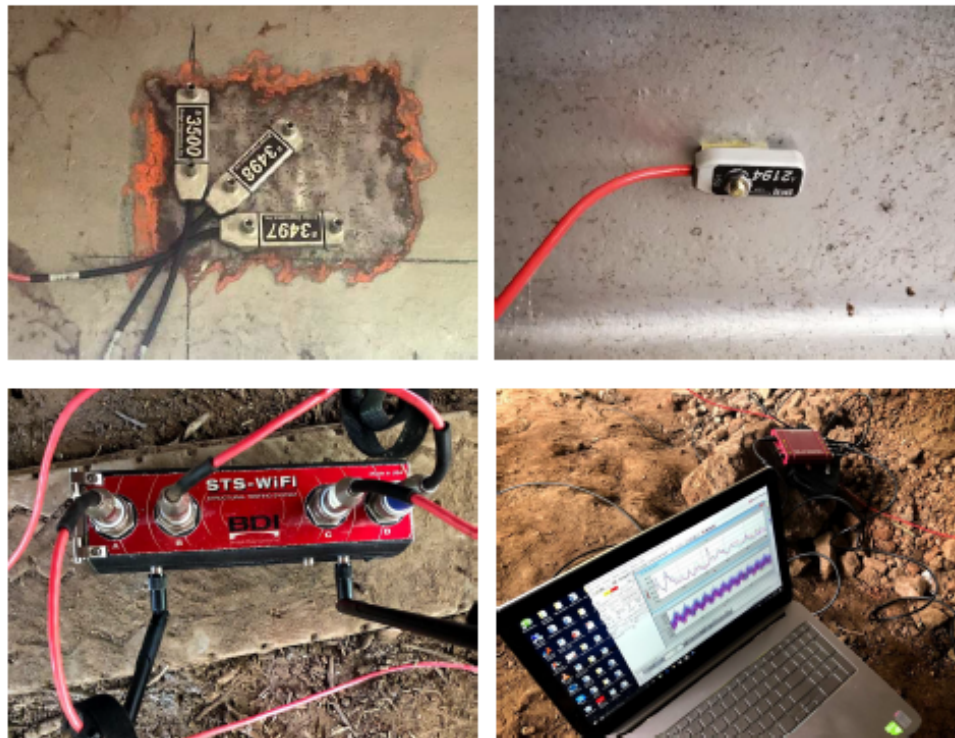


Figura 6. a) Sensores de deformación unitaria en configuración de roseta b) Acelerógrafos
c) Nodos de adquisición de datos d) Computadora portátil

INFORME DE INVESTIGACIÓN

En el puente sobre el Río Desjarretado, se instalaron los 12 sensores de deformación unitaria y los 4 acelerógrafos. Los sensores de deformación unitaria se colocaron en una configuración de roseta en ambos lados del alma de una de las vigas del puente, como se observa en la Figura 6a). La ubicación esquemática de los sensores se muestra en la Figura 7. Las rosetas se colocaron en una de las vigas en donde analíticamente se prevé que se recibe la mayor carga de los vehículos, en el sentido de tránsito Guanacaste-San José. Esta configuración de los sensores permite obtener registros que son comparables con las mediciones realizadas en la estación permanente. Los acelerógrafos se colocaron en el ala superior de las mismas vigas instrumentadas con rosetas, como se muestra en la Figura 6b). El registro de aceleraciones en dos ubicaciones distintas permite identificar algunas de las propiedades dinámicas del puente.

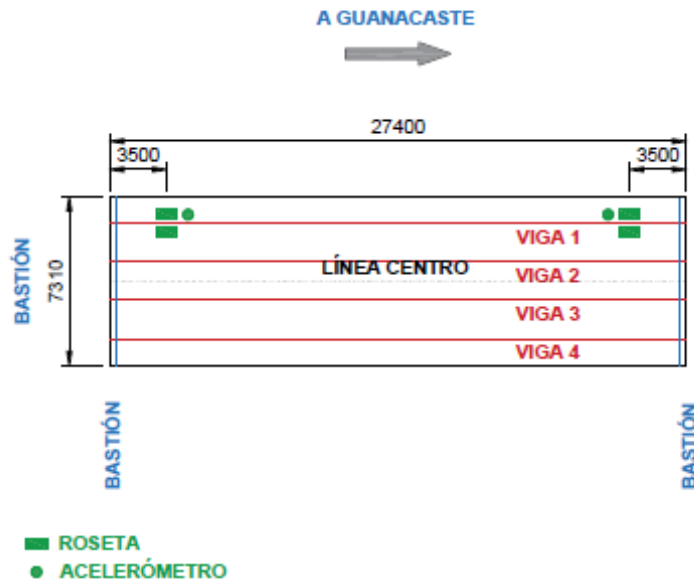
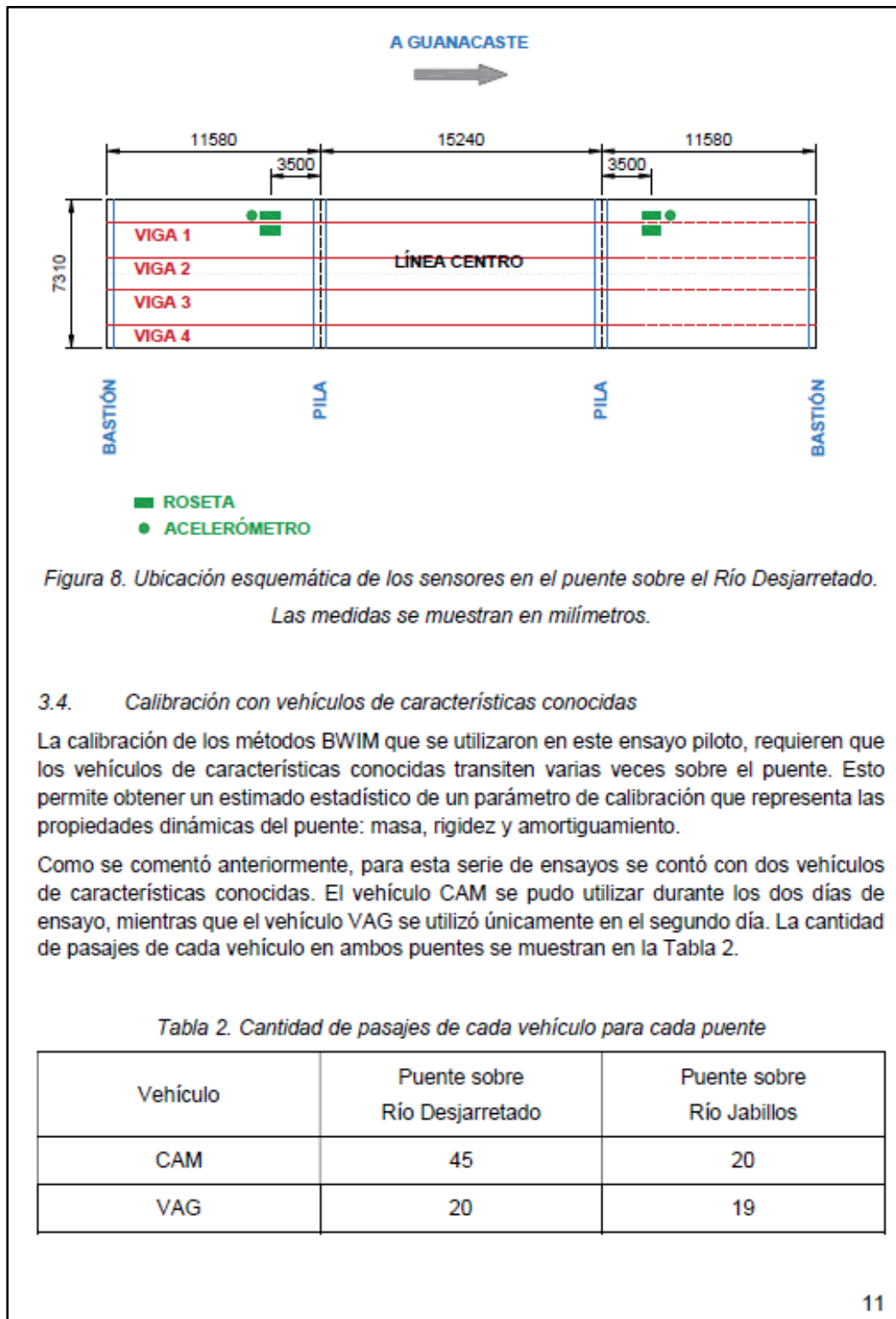


Figura 7. Ubicación esquemática de los sensores en el puente sobre el Río Desjarretado.
Las medidas se muestran en milímetros.

En el puente sobre el Río Jabillos, se procedió de manera similar. Los sensores se colocaron como se muestra en la Figura 8.

INFORME DE INVESTIGACIÓN



INFORME DE INVESTIGACIÓN

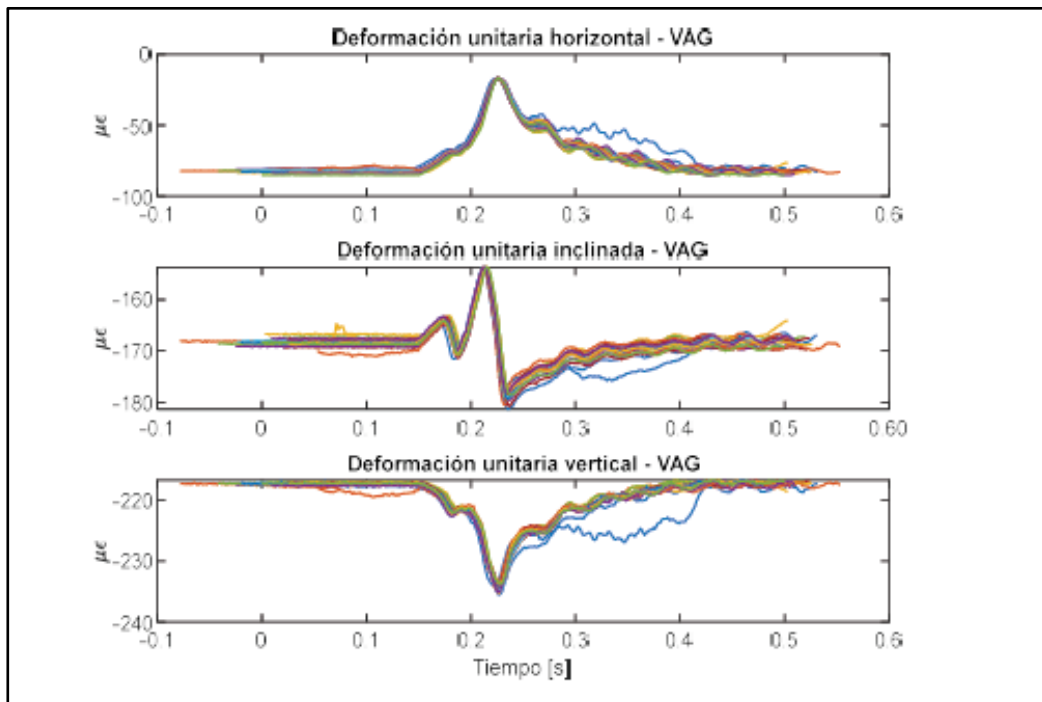


Figura 9. Deformaciones unitarias registradas para el vehículo CAM, en una de las rosetas colocadas en el puente sobre el Río Desjarretado.

En la Figura 9 se muestra un ejemplo de los registros obtenidos para la calibración. Esta figura muestra la deformación unitaria que se registró en cada uno de los 45 pasajes del vehículo CAM sobre el puente sobre el Río Desjarretado, en la dirección Guanacaste-San José. A partir de estos resultados se calculan estadísticos que permiten establecer un factor de proporcionalidad que representa al puente, y que eventualmente permite calcular el peso de otros vehículos pesados que transitan sobre el mismo.

3.5. Otras mediciones realizadas

Además de las mediciones realizadas con los sensores de deformación unitaria y acelerómetros, en esta serie de ensayos se grabó un video de los pasajes de los vehículos con características conocidas, así como el pasaje normal de los vehículos que cruzan ambos puentes. La utilización de este video no es estrictamente necesaria para los métodos BWIM utilizados, pero pueden servir para mejorar los mismos y realizar investigación científica en el campo. Por ejemplo, la presencia de múltiples vehículos simultáneamente en los puentes, podría llegar a interferir con los algoritmos que se utilizan para el cálculo de los pesos. Entonces, contar con la grabación tiene el potencial de contribuir a mejorar el algoritmo para que se pueda contemplar la multi-presencia en los cálculos.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

También, durante el segundo día se tomaron mediciones de sonido, utilizando cuatro micrófonos PCB. Estas mediciones se espera que puedan proveer información acerca de las propiedades dinámicas globales del puente de una forma remota. Esta información se recopiló para efectos de realizar investigación académica por lo que no es necesaria para la calibración del método. Los micrófonos utilizados se muestran en la Figura 10.



Figura 10. Micrófonos colocados debajo del puente sobre el Río Desjarretado.

4. Procesamiento de la información

Como se mencionó anteriormente, se registraron múltiples pasajes de cada vehículo de propiedades conocidas sobre los puentes en cuestión. Por esta razón, se procuró registrar la mayor cantidad de datos que corresponden a pasajes de vehículos cuyas características se desconocen. Sin embargo, para que esta información pueda ser de utilidad es necesario dar un tratamiento a las señales y utilizar un algoritmo que permita identificar el peso de los vehículos que transitan sobre los puentes.

En este ensayo piloto, los métodos de identificación de los pesos se basan en encontrar un factor de proporcionalidad, ya sea para efectos de momento flector o bien para fuerza cortante. En esencia, estos métodos se basan en el hecho de que para un vehículo cuyas características se conocen, se genera un registro como los mostrados en la Figura 9. Entonces, se puede relacionar la forma de dicho registro a un peso determinado y se puede obtener el peso de otros vehículos por medio de factores de proporcionalidad y teoría de mecánica estructural.

Una vez que se obtiene estos factores de proporcionalidad, es necesario aplicar un algoritmo. Dicho algoritmo se encarga de aplicar filtros que eliminan el ruido electrónico y ambiental de frecuencias altas, identificar cada evento de pasaje de vehículos desconocidos, identificar el carril en el cual transitan dichos vehículos, calcular la velocidad a la cual se desplazan y finalmente calcular el peso bruto vehicular.

El procesamiento de esta información se completará en las fases siguientes del proyecto, en un trabajo conjunto entre la Universidad de Costa Rica y la Universidad de Connecticut.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

5. Resultados esperados

A partir de las mediciones realizadas, se espera obtener los siguientes resultados:

- Cantidad total de vehículos pesados que transitan por la ruta, a lo largo de la duración de la prueba
- Histograma que muestre la distribución de los pesos de dichos vehículos

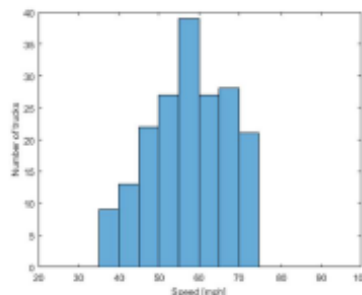


Figura 11. Ejemplo de histograma de pesos brutos vehiculares.

- Histograma que muestre la distribución de las velocidades a las cuales transitan dichos vehículos

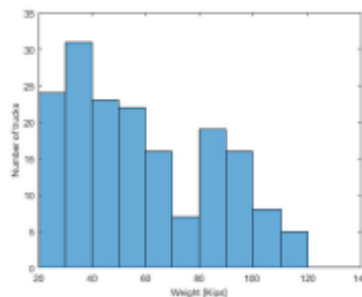


Figura 12. Ejemplo de histograma de velocidades.

- Comparación y obtención de porcentajes de error con respecto a las mediciones de la balanza estática



INFORME DE INVESTIGACIÓN

6. Referencias

1. Vargas, A., Rodríguez L., Aguiar J., Hernández, H., and Loría L. Truck Weights on Municipal and National Roads without Weight Enforcement. *Transportation Research Record*, 2019. Vol. 2673 (2). pp. 275.
2. Allen, J., Vargas, C., Hernández, H. Determinación de la Cantidad y Ubicación de estaciones de pesaje en la red vial nacional de Costa Rica. Informe del LanammeUCR LM-PI-GM-02-2014, 2014. pp. 10.
3. O'Brien, E.J., A. Znidaric, y A.T. Dempsey. Comparison of Two Independently Developed Bridge Weigh-In-Motion Systems. *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 6, 1999, pp. 147-160. <http://dx.doi.org/10.1504/IJHVS.1999.054503>
4. Christenson, R.E., y S. Motaref. Dual Purpose Bridge Health Monitoring and Weigh-In-Motion (BWIM) System. Report Number CT-2265-F-15-7, Connecticut Department of Transportation, 2016.
5. Wall, C.J., R.E. Christenson, A.M. McDonnell, and A. Jamalipour. A Non-Intrusive Bridge Weigh-In-Motion System for a Single Span Steel Girder Bridge Using Only Strain Measurements. Report Number CT-2251-3-09-5, Connecticut Department of Transportation, 2009.
6. Moses, F. Weigh-In-Motion System Using Instrumented Bridges. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 105, 1979, pp. 233-249.
7. Lobo, S. y Christenson, R.E. A simplified shear-strain based bridge weigh-in-motion method for in-service highway bridges. *Revista Métodos y Materiales*, Vol. 8, 2018.
8. Ojio, T. and K. Yamada. Bridge Weigh-In-Motion System Using Stringer of Plate Girder Bridges. Pre-proceedings of the Third International Conference on Weigh-In-Motion, Orlando, FL, 2002, pp. 209-218.
9. O'Brien, E.J., A. Znidaric, and T. Ojio. Bridge Weigh-In-Motion Latest Developments and Applications World Wide. *International Conference on Heavy Vehicles*, Paris, 2008, pp. 25-38.
10. Muñoz, E., D. Gómez, F. Núñez, and C. Florez. Determinación de Cargas Dinámicas de Camiones Pesados que Transitan en un Puente Basado en Algoritmos Genéticos e Instrumentación. *Revista Ingeniería y Construcción*, Vol. 26, 2011, pp. 321-352. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000300005>
11. Hitchcock, W.A., N. Uddin, V. Sisiopiku, T. Salama, J. Kirby, H. Zhao, H. Toutanji, and J. Richardson. Bridge Weigh-In-Motion System Testing and Evaluation. Report Number 07212, University Transportation Center of Alabama, 2012.
12. Lechner, B., M. Lieschnegg, O. Mariani, and M. Pircher. Detection of Vehicle Data in a Bridge Weigh-In-Motion System. *Modern Traffic and Transportation Engineering Research*, Vol. 2, 2013, pp. 153-161.



INFORME DE INVESTIGACIÓN

13. Lydon, M., S.E. Taylor, D. Robinson, A. Mufti, and E.J. O'Brien. Recent Developments in Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM). *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, Vol. 6, 2015, pp. 69-81. <http://dx.doi.org/10.1007/s13349-015-0119-6>
14. Carrillo, W. Prueba piloto de un sistema de pesaje dinámico basado en la deflexión vertical de un puente Bailey. Trabajo Final de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 2019.

INFORME DE INVESTIGACIÓN

10. ANEXO B

Oficio de solicitud de permiso

Solicitud para realizar trabajos de investigación en los puentes existentes del proyecto Limonal-Cañas



INFORME DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PARA RECIBIR

07 de febrero de 2019
LM-IC-D-0930-19

Ing. José Antonio Rogel Quesada
Coordinador General
UEP Programa PIT

	RECIBIDO
Nombre: <u>Carage Escobar</u>	
Firma: <u>[Signature]</u>	
Fecha: <u>05-11-2019</u>	
Hora: <u>14:36</u>	

Asunto: Solicitud para realizar trabajos de investigación en los puentes existentes del proyecto Limonal – Cañas.

Estimado señor:

Con el conocimiento de que se inician los preparativos para la intervención de los puentes existentes del proyecto de mejoramiento del tramo Limonal – Cañas de la Ruta Nacional nro. 01, a cargo de la Unidad Ejecutora que su persona coordina, le hago la solicitud para realizar los siguientes trabajos de investigación en dicho proyecto:

- 1- Investigación en lo que se denomina en inglés "Bridge Weigh-in-Motion" (BWIM) o pesaje en puentes en servicio: Esta área de investigación utiliza la respuesta dinámica de los puentes para determinar el peso y la velocidad de los camiones que transitan. Esta técnica es una forma de realizar control de pesaje en tiempo real de los camiones, con el objetivo de identificar vehículos que transiten con sobrepeso sobre las vías. Para poder realizar esta investigación, es necesario instrumentar el puente con sensores de medición de la deformación y de la aceleración. Durante la semana del 16 al 20 de diciembre del año en curso, van a venir al país expertos a nivel mundial en el tema, procedentes de la Universidad de Connecticut, con el objetivo de realizar investigación en BWIM en Costa Rica y hacer transferencia de conocimiento. Conociendo que los puentes existentes del proyecto van a ser sustituidos, tomando en cuenta características físicas deseables que poseen como que son de una sola luz simplemente apoyados, y dada la existencia de la estación de pesaje de Cañas cerca de los puentes lo cual da la posibilidad de calibrar la toma de datos, le solicito permiso para llevar a cabo la investigación en los puentes: río Desjarretado, río San Miguel y río Javillo. Si bien es cierto se van a adherir instrumentos a los puentes, en ningún momento se va a poner en peligro la integridad estructural de los mismos, y no es necesario cerrar el tránsito por el puente ya que mas bien se necesita que pasen vehículos. La toma de datos duraría dos días, de manera preliminar los días 17 y 18 de diciembre. Si adicionalmente para ese tiempo hubiera presencia de la constructora durante la noche, es otra característica deseable, ya que eventualmente, si hubiera que dejar equipo de medición en el puente, este quedaría más seguro.
- 2- El puente sobre el río Higerón es una cercha de media altura construida con base en planos típicos de estructuras tipo armadura de la carretera interamericana, usando como material acero de la compañía estadounidense *US Steel*, situación que también se repite en los restantes puentes de esta época y de esta tipología en la red vial nacional primaria del

Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica / Tel: (506) 2511-2500 Fax: (506) 2511-4440
direccion.lanamme@ucr.ac.cr / www.lanamme.ucr.ac.cr