

	<b>Informe - 01</b>	
	CONFIDENCIAL	
<p>Proyecto: <b>eBridge “Predicción remota de fallas en puentes”</b></p> <p>Fecha de inicio: 01/01/2011 Fecha finalización: 31/12/2012</p> <p>Documento I – Informe técnico de los resultados del proyecto</p> <p>Fecha del informe: 25/02/2013</p> <p>Preparado por: Grupo de investigación eBridge</p> <p><b>Autores:</b> Ortiz Quesada, Giannina          Carvajal Godínez, Johan          Soto Montoya, Casia          Navarro Serrano, Hugo          Carranza Solano, Mauricio          Figueroa Mata, Giovanni          Carrera Retana, Luis Ernesto</p> <div style="text-align: right; margin-top: 200px;">  </div>		
	Coordinador: Institución: e-mail: Tel.: Página web:	Giannina Ortiz Quesada Tecnológico de Costa Rica <a href="mailto:gortiz@itcr.ac.cr">gortiz@itcr.ac.cr</a> (506) 2550-2309 <a href="http://www.tec.ac.cr">www.tec.ac.cr</a>

## Resumen

El proyecto eBridge: Predicción remota de fallas en puentes, se propuso en esta primera etapa generar capacidad de predicción de fallas en puentes. Este tema se planteó por la necesidad actual que tiene el país de mejorar la administración y la toma de decisiones en temas de infraestructura, especialmente en el tema de puentes, ya que este tipo de infraestructura es el eslabón más débil en una red vial, elemento fundamental para el transporte de personas y bienes en un país y región, influyendo directamente en la competitividad del mismo (*Foro económico mundial, 2012 - 2013*).

Para generar esta capacidad se desarrollaron herramientas básicas que permitirán en futuras etapas de investigación concluir con un sistema experto para el desempeño de estructuras de puentes. Estas herramientas son: (i) metodologías de evaluación considerando aspectos cualitativos y cuantitativos, (ii) identificación de mecanismos de fallas para un tipo de puente de interés nacional, (iii) identificación de tecnología para la medición de variables relacionadas con los mecanismos de falla, (iv) protocolos de medición, (v) identificación de herramientas probabilísticas para la determinación de niveles de confianza de una estructura, (vi) generación de una herramienta de simulación utilizando el método de montecarlo y (vii) realización de pruebas de concepto para la aplicación de lo anterior.

El grupo de trabajo se dividió en tres áreas fundamentales: (i) ingeniería estructural y de construcción, (ii) algoritmos especializados de visualización y predicción y (iii) sistemas de información que incluye los sistemas de información geográfica y la red de sensores.

Al inicio del proyecto se esperaba contar con un inventario de estructuras de puentes del país, sin embargo las instituciones a cargo no cuentan con el mismo, por que se varió la metodología y más bien se enfocó en mejorar y complementar un sistema de administración de estructuras de puentes, generando un prototipo de base de datos con la información necesaria por conocer de una estructura. Además, con el fin de aplicar todo lo generado en esta investigación, se seleccionó un puente piloto que fuera típico en nuestro país.

Desde el punto de vista estructural, se caracterizó el puente a través de un modelo estructural teórico y esta caracterización se complementó incluyendo un análisis de la cuenca y cobertura del área de influencia del mismo. Generando protocolos y estándares para el almacenamiento de esta información.

Considerando la teoría y las experiencias de los investigadores se identificaron mecanismos de falla probables y se analizaron las variables que pueden influir en el mismo, identificando para el puente piloto el elemento que más influye en su comportamiento, con el objetivo de medir físicamente su comportamiento real.

Las mediciones se realizaron utilizando tecnología existente, adaptándola y generando los protocolos de adquisición de datos. Contando en este momento con instrumentos para la medición de variables como: desplazamiento, deflexión, deformación, vibración y tránsito; además de una transmisión de datos utilizando la red 3G (telefonía celular) para el caso de la vibración, instrumentos además inalámbricos que permiten una mayor facilidad de instalación.

Con respecto al tema de confiabilidad de la estructura, se identificaron metodologías de análisis y se llegó a determinar un índice de confianza de la misma para un tiempo dado. Sin embargo, para determinar una ecuación de confiabilidad en el tiempo, es necesario la generación de más información proveniente de la evaluación de estructuras existentes, aspecto que en Costa Rica no es posible a la fecha dada la falta de bases de datos del comportamiento de las estructuras.

En este proyecto se trabajó con un grupo multidisciplinario y con la participación de un grupo importante de estudiantes de grado del Tecnológico de Costa Rica.

## Introducción

Los puentes son uno de los componentes críticos en cualquier red de transporte, por lo tanto el controlar su comportamiento y tener la capacidad de anticipar fallas es fundamental para el buen desempeño de esta red, aspecto fundamental para el desarrollo socio económico de un país.

El problema que se pretende resolver con esta investigación es la incapacidad para predecir fallas en los puentes de Costa Rica. Esto se solucionará a través del planteamiento de un modelo de confiabilidad, el cual tomará los datos directamente del campo y del comportamiento real de la estructura, a través de una red de sensores inalámbrica y de bajo costo.

La infraestructura pública costarricense se ha caracterizado en los últimos años por poca inversión en mantenimiento y por una falta de estandarización de parámetros para el control del desempeño de estas estructuras, especialmente los puentes.

La mayoría de los puentes en Costa Rica poseen más de 30 años de construidos y a la fecha no se ha introducido elementos tecnológicos que permitan un monitoreo de su comportamiento que permita la toma de decisiones a tiempo.

Lamentablemente, las últimas noticias sobre el tema han sido catastróficas, pues se ha evidenciado la necesidad de un mantenimiento preventivo para evitar pérdidas humanas como las que se han tenido en los últimos años.

Actualmente, en nuestro país este tema es de gran relevancia, pues al revisar las noticias del último año, se puede observar que más de **900** tienen relación con el tema de mantenimiento y fallas en los puentes de Costa Rica.

Como ejemplo, se tienen el derrumbe del puente de hamaca sobre el Río Tárcoles, con la trágica consecuencia de personas fallecidas, el accidente del puente sobre el Río Lagarto, también con consecuencias mortales y daños estructurales al puente, entre otros más que se pueden citar.

## Antecedentes

Costa Rica en la actualidad, no cuenta con sistemas de monitoreo de obras públicas, en este caso puentes, la única experiencia desarrollada en el país es para el control de proyectos hidroeléctricos por los montos de inversión y requerimientos internacionales. Sin embargo los puentes son obras públicas de suma importancia, tanto para el desarrollo económico de un país, como para la movilidad de las personas en casos de desastres naturales.

El por qué se ha seleccionado esta estructura en particular, está referido a la necesidad de mantener este tipo de estructuras en un nivel de desempeño adecuado, ya que son de uso público y sus fallas generan usualmente catástrofes que incluyen pérdidas humanas.

Otros países como Estados Unidos y Canadá, tienen una amplia experiencia en esta temática. Sin embargo esta tecnología no se puede transferir de un país a otro sin una investigación del entorno, una adecuada comprensión de su funcionamiento y adaptabilidad al entorno, ya que las condiciones de desempeño y de diseño son diferentes.

El monitoreo de estructuras civiles, específicamente el caso de los puentes se remonta a principios de los años ochenta, en países desarrollados como Estados Unidos y Canadá, y llegaron a atender situaciones de desastre, como por ejemplo el colapso del puente “Silver Bridge” el cual colapsó en el año 1967 lo cual evidenció la falta de atención y nivel de deterioro y seguridad de estas estructuras, este caso particular fue el inicio para que posteriormente se utilizaran sistemas de información geográfica y bases de datos relacionales, para el análisis de información que permitiera predecir el comportamiento de estas estructuras (*Chase et al, 1998*).

En los años ochentas inició en Estados Unidos una corriente de investigación en algunas universidades, específicamente en los Departamentos de Ingeniería Civil y apoyados por los Departamentos de Transportes, sobre las posibles causas de fallas en estas estructuras, lo cual incluyó mediciones sobre deformaciones y el efecto de las vibraciones en los puentes (*DeWolf et al, 1998*) (*Lauzon et al, 1998*) (*DeWolf et al, 2006*). Estos estudios han proporcionado información importante para la evaluación y diseño de puentes.

Dentro de los principales problemas encontrados en estos puentes se encuentran: fatiga de los materiales, capacidad de carga, tasas de carga, pesos temporales como la nieve, estructuras móviles, deflexiones, entre otras.

En el caso de Costa Rica, no se puede simplemente tomar estos modelos y reproducirlos dado que las condiciones son diferentes, ya que se deben tomar en cuenta aspectos como la sismicidad, la topografía, clima, entre otros, por lo tanto se hace imprescindible la caracterización de estas estructuras de acuerdo a nuestro entorno y el comportamiento de equipos existentes y su adaptación a nuestro medio.

La mayoría de los sistemas de monitoreo incluyen, la identificación de un modelo teórico en el cual se identifican las variables que influyen en el desempeño del puente, de acuerdo a las características de diseño, condiciones del ambiente, materiales de construcción y otros. El segundo elemento es un sistema de monitoreo el cual incluye la red de toma de datos y la

transmisión de estos, es en este punto donde la identificación, selección y uso de los sensores adecuados es sumamente importante. Los sensores más utilizados son:

- strain meters
- vibrating wire strain gauges
- foil strain gauges (set up in quarter, half, or full bridge strain configurations)
- inclinometers
- crack and joint sensors
- tilt sensors
- accelerometers

Finalmente pero no menos importantes está el software utilizado para el análisis de los datos, la simulación de comportamiento de las estructuras y la visualización de los mismos; así como el uso de sistemas de información geográfica (*Sartor et al, 1999*).

En el caso de Estados Unidos de Norteamérica, existen ejemplos de empresas dedicadas a este tema como la compañía Campbell Scientific, con su tecnología para la adquisición y análisis de datos, los cuales tienen una aplicación importante para el monitoreo estructural y sísmico de los puentes, que incluyen análisis de fatiga de materiales, apoyo para la investigación sobre mecánica estructural, entre otros.

Como ejemplo se tiene el puente de Confederation Bridge, Prince Edward Island, Nova Scotia, Canada. Este es uno de los puentes continuos más largos, tiene una longitud de 13 km, y está construido a base de concreto pretensado. El enfoque del monitoreo es estructural, fue desarrollado por un consorcio entre el gobierno, la industria e instituciones académicas. El equipo utilizado fue Campbell Scientific CR9000, se utilizó fibra óptica como enlace de comunicación y se utilizaron sensores para medir deflexión, temperatura, vibración e inclinación de la estructura (*Montreuil et al, 2003*).

Otro ejemplo se ubica en cerca del pueblo de Saco en Montana, Estados Unidos, el cual está sobre la ruta estatal 243, el enfoque también es estructura y fue desarrollado por el Western Transportation Institute, del Departamento de Transporte de Montana, el equipo utilizado es Campbell Scientific CR10X, CR5000s, como enlace de comunicación se utilizó RF400 Spread Spectrum radios, NL100 Network Link y los parámetros medidos son deflexiones, temperatura y humedad (*Smolenski et al, 2004*).

## Definición del problema

El informe que se presenta en este documento es producto de un proyecto de investigación del Tecnológico de Costa Rica, en la ronda de financiamiento 2011. Dada la importancia del tema y su relación con el desarrollo nacional y área de la ingeniería civil y la ingeniería electrónica, y con el fin de procurar el alcance de los fondos necesarios para el logro de los objetivos, se contó con el apoyo adicional de la Comisión de Incentivos del MICIT.

Los puentes son uno de los componentes críticos en cualquier red de transporte, por lo tanto el controlar su comportamiento y tener la capacidad de anticipar fallas es fundamental para el buen desempeño de esta red, aspecto fundamental para el desarrollo socio económico de un país.

El problema que se pretende resolver con esta investigación es la falta de herramientas para predecir fallas en los puentes de Costa Rica. Esto se solucionará a través del planteamiento de un modelo de confiabilidad, el cual tomará los datos directamente del campo y del comportamiento real de la estructura, a través de una red de sensores inalámbrica y de bajo costo.

## Objetivos

### ***Objetivo general***

Incrementar la capacidad de predicción de fallas en puentes, realizando el desarrollo e implementación de un modelo de confiabilidad estructural que se alimente a partir de una red inalámbrica de sensores.

### ***Objetivos específicos***

- Identificar el modelo de confiabilidad estructural que se ajuste mejor a las características propias de la infraestructura del país, utilizando la comparación de simulaciones teóricas para los puentes seleccionados.
- Desarrollar una infraestructura de recolección de datos por medio de la implementación de una red inalámbrica de sensores, que mida cuantitativamente los parámetros de entrada críticos definidos para el modelo de confiabilidad, con el fin de maximizar la respuesta de los parámetros de salida.
- Optimizar el modelo de confiabilidad estructural, utilizando la parametrización en tiempo real de las variables de entrada al modelo de simulación.
- Proponer un marco de regulación ante el gobierno, sobre el uso de instrumentos de medición en la construcción de infraestructura pública que contemple el modelo de confiabilidad estructural con el fin de garantizar un adecuado desempeño de las obras civiles.



## Revisión de literatura

Las estructuras de puentes son estructuras de un alto costo tanto desde el punto de vista constructivo, como desde su impacto en la economía de una región si este falla; se diseñan para una vida útil entre 50 a 75 años, pero para mantener su estado o alargar esa vida útil es necesario el seguimiento a su desempeño o monitoreo. Es por ello que es muy importante la evaluación periódica de estas estructuras.

### ***Evaluación de estructuras***

La palabra *evaluación* se refiere a la valoración del desempeño de un puente existente. Una falla se define como una condición del puente cuando un estado límite es alcanzado o excedido. El estado límite es la condición de los componentes de un puente que sobre pasa los criterios para los cuales fue diseñado. (AASHTO, 2011)

La evaluación de un puente y la predicción de su comportamiento, puede medirse por medio de un índice de confiabilidad, el cual es un número que define de forma relativa la seguridad estructural de un elemento de una estructura, expresado como un número de desviaciones estándar que representan el margen de seguridad de la estructura. (AASHTO, 2011)

### **Fallas típicas en puentes**

La mayoría de las fallas en los puentes son producto de (White et al, 1992):

- Socavación en fundaciones, debido a crecidas en los ríos
- Impacto de vehículos
- Sismos
- Viento
- Corrosión
- Fatiga del material

### **Fatiga del material**

La fatiga de un material se define como la tendencia de falla de un elemento sujeto a cargas cíclicas, este tipo de fallas puede darse incluso con bajos niveles de esfuerzo (White et al, 1992). En la gráfica de la figura 1, se muestra el esfuerzo contra la ruptura del material, allí se puede observar que entre mayor es el número de ciclos de carga, menor es el esfuerzo de ruptura.

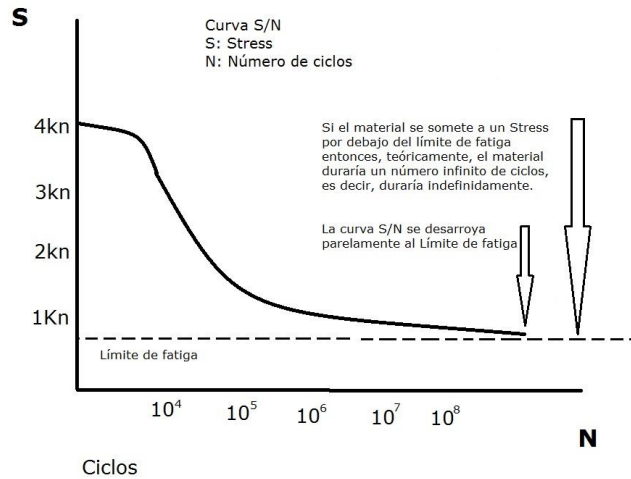


Figura 1. Esfuerzo vrs ciclos de carga (tomado de [encora2.wordpress.com](http://encora2.wordpress.com))

Para inspeccionar la fatiga en un material es importante analizar el incremento del tránsito: volumen, tamaño, tipo de cargas vivas.

## Corrosión

La corrosión es el deterioro y eventual destrucción del metal a causa de reacciones con el ambiente. Químicamente es la transformación del metal en óxido a través de reacciones que envuelven oxígeno, agua u otros. (White et al, 1992)

La corrosión tienen efectos negativos sobre una estructura, entre ellos:

- Pérdida de sección, lo que implica pérdida de capacidad de carga.
- Creación de esfuerzos concentrados, por ejemplo alrededor de los agujeros.
- Introducción de puntos de rigidez, por ejemplo cuando se da corrosión en pernos.
- Introducción de movimientos adicionales.

## Posibles fallas en el concreto

El concreto es un material muy utilizado en estructuras de puentes, es por ello que se deben cuidar una serie de detalles para evitar la falla en este material. (White et al, 1992)

- Inadecuados detalles de diseño: esto se refiere a la falta de elementos como drenajes, recubrimiento inadecuado del acero de refuerzo.
- Deficiencias constructivas: aparición de grietas por compactación inadecuada, hormigueros en el concreto, segregación del concreto por excesiva vibración, agregados

contaminados que pueden incrementar la porosidad, colocación inadecuada del acero de refuerzo. Todo lo anterior contribuye a un deterioro prematuro de la losa de concreto.

- Falta de mantenimiento: provoca un deterioro prematuro, por ejemplo la acumulación de polvo u otros en juntas provoca una presión mayor en la losa que se puede convertir en posteriores grietas.
- Variaciones de temperatura: grandes cambios de temperatura provocan agrietamiento del material.
- Ataques químicos: se refiere a la presencia de sales que pueden reaccionar con el concreto.
- Reacción entre los agregados y los alcalis del concreto provocan fluorescencia.
- Porosidad.
- Abrasión o desgaste: provocan desintegración de la losa.
- Fuerzas de contracción y flexión: produce esfuerzos que pueden sobrepasar la capacidad del concreto y se convierten en posteriores grietas.
- Colisiones: impactos.
- Movimientos en las fundaciones.
- Corrosión del acero de refuerzo.

## Mecánica de puentes

Las cargas que intervienen en el diseño y análisis de un puente son: cargas muertas (peso de los elementos) y cargas vivas (vehículos, viento, sismo, agua, cambios por temperatura, nieve). (*White et al, 1992*)

Las cargas en un puente pueden actuar en varias direcciones, sin embargo las más críticas son las verticales, normalmente las cargas laterales no se consideran críticas (*White et al, 1992*). Las cargas longitudinales normalmente se consideran como cargas secundarias e incluyen procesos térmicos en los materiales, inercia de los vehículos, movimientos en los contrafuertes y sismos.

Para la determinación de la capacidad de carga se utilizan camiones equivalentes, los más comunes son camiones HS15 y HS20. Un camión H tiene 2 ejes, con el 20% de la carga en el eje delantero y el 80% en el trasero, por ejemplo un camión HS20 tiene 20 Ton de peso, distribuido en 4 Ton en eje delantero y 16 Ton en el eje trasero.

Según el manual de diseño de la AASHTO<sup>1</sup> es importante analizar la influencia de los siguientes parámetros:

- Efecto del impacto:  $I = 50 / (L + 25) \leq 30\%$ , donde L es la longitud entre apoyos.
- Esfuerzos de tensión y compresión
- Flexión: se produce por la aplicación de cargas en forma transversal, esto significa que se aplica perpendicular al eje axial de la viga.
- Cortante: es la suma de fuerzas verticales que producen un corte imaginario en la viga.

---

<sup>1</sup> La AASHTO es la Association of State Highway and Transportation Officials, y en este informe se hará constante mención ya que es el estándar utilizado en Costa Rica.

- **Torsión:** en puentes se produce principalmente cuando las cargas no se aplican directamente sobre la viga. La torsión es un giro del elemento sobre su eje, un ejemplo de fuerzas que producen torsión son las fuerzas de viento.

## Pruebas a los materiales

La caracterización de una estructura como un puente, no sólo depende de su configuración estructural, sino de los materiales que la componen y las características de éstos varían con el tiempo y uso, de tal manera que para la evaluación de una estructura no pueden suponerse como si estuvieran nuevos.

Con el fin de verificar las características presentes en un momento dado sobre una estructura, se deben realizar pruebas a los mismos; estas pruebas pueden ser destructivas (destructive testing, DT) o no destructivas (no destructive testing, NDT). (AASHTO, 2011)

### Pruebas no destructivas

Las pruebas no destructivas (NDT, por sus siglas en inglés) se caracterizan por no requerir la extracción de muestras, sino que utilizan métodos indirectos. Poseen la ventaja de no intervenir la estructura, pero requieren de una buena calibración del equipo y una validación de los datos obtenidos.

### Pruebas no destructivas en concreto

A continuación se presenta un resumen de las principales pruebas que pueden ser aplicadas a este material, incluyendo sus ventajas y desventajas: (AASHTO, 2011)

Capacidad de detección de defectos						
Método basado en	Agrietamiento	Descascaramiento	Corrosión	Desgaste y abrasión	Ataques químicos	Vacíos
Fuerza	N	N	P	N	P	N
Sonido	F	N	G	N	N	N
Ultrasonido	G	N	F	N	P	N
Magnetismo	N	N	F	N	N	N
Electricidad	N	N	G	N	N	N
Nuclear	N	N	F	N	N	N
Termografía	N	G	G	N	N	N
Radar	N	G	G	N	N	N
Radiografía	F	N	F	N	N	F

G=Bueno, F=Razonable, P=Malo, N=No recomendado

**Tabla 1. Capacidad de las técnicas no destructivas para identificar daños en el concreto.**  
(AASHTO, 2011)(traducción propia)

**Métodos de fuerza:** Estas son pruebas de rebote y penetración de una fuerza sobre el concreto y se usa para predecir la resistencia del mismo. El martillo Schmidt es el dispositivo más utilizado para esta prueba. Se utiliza generalmente para comparar la calidad del concreto en diferentes puntos del puente. Esta prueba está normada por la ASTM C805 "Tets Method for Rebound

Number for Hardened Concrete". Presenta el problema de que los resultados en concretos de muchos años pueden no ser confiables.

**Métodos sínicos:** Los métodos mecánicos basados en la velocidad de un pulso sínico es muy utilizado, se utiliza un martillo que crea un pulso y se evalúa el tiempo que tarda entre un punto y otro del concreto; posteriormente el tiempo se relaciona con el módulo de elasticidad del material. Esta técnica presenta el problema que es poco práctica en grandes superficies, por ejemplo losas. La norma ASTM D4580 hace referencia a la misma.

**Técnicas de ultrasonido:** Estos dispositivos normalmente utilizan mediciones de velocidad en el concreto de un pulso generado por un transductor piezoeléctrico. La velocidad de este pulso depende de la composición y madurez del concreto y sus propiedades elásticas. La relación con el esfuerzo o la fuerza depende de pruebas experimentales realizadas previamente. En el caso de presencia de grietas esta técnica resulta muy útil. Las técnicas de ultrasonido con un buen entrenamiento y experiencia resultan una herramienta muy útil.

**Métodos magnéticos:** La aplicación principal de estos métodos es comprobar la presencia de acero de refuerzo en el concreto. Estos dispositivos generan un campo magnético. Presenta buenos resultados en un rango de recubrimiento menor a 3 pulgadas.

**Métodos eléctricos:** Los métodos eléctricos para inspección de puentes con elementos de concreto incluye medidas de resistividad y potencial. La resistividad eléctrica puede ser usada para determinar la permeabilidad de una losa de concreto. Puede revisarse la norma ASTM D3633. También pueden ser utilizados para determinar la corrosión en el acero de refuerzo, utilizando diferencias de potencial eléctrico.

**Métodos nucleares:** La aplicación principal de estos métodos es medir el contenido de humedad en el concreto, utilizando la adsorción de neutrones.

**Termografía:** la termografía infrarroja se utiliza como prueba complementaria para determinar la delaminación en las superficies de concreto. Trabaja bajo el principio de zonas frías y zonas de calor, por ejemplo las delaminaciones interrumpen la transferencia de calor en el concreto. mayor información puede encontrarse en ASTM D4788.

**Radar de penetración terrestre (GPR):** es un método geofísico que utiliza pulsos de radar para obtener imágenes del subsuelo. Este método no destructivo utiliza la radiación electromagnética en la banda de microondas (UHF / VHF frecuencias) del espectro radioeléctrico, y detecta las señales reflejadas desde las estructuras del subsuelo. Se utiliza para medir el deterioro de las losas de concreto, puede medir discontinuidades tanto en concreto como en asfalto.

**Radiografía:** este método incluye la irradiación de rayos gamma sobre el concreto para un análisis posterior de la placa obtenida. Se requiere de un entrenamiento importante para la interpretación de los resultados.

### **Pruebas no destructivas en acero**

En el caso de materiales de acero, también se recomiendan una serie de pruebas que pueden aplicarse. (AASHTO, 2011)

Capacidad de detección de defectos											
Método basado en	Grietas superficiales	Grietas profundas	Grietas internas	Grietas por fatiga	Agujeros internos	Porosidad y escoriación en soldadura	Espesor	Corrosión por esfuerzo	Abrasión	Zonas de corrosión	
Radiografía	N	F	F	P	G	G	F	F	P	G	
Partículas Magnéticas (A.C)	wet	G	G	N	G	N	N	G	N	N	
	dry	F	G	N	G	N	N	F	N	P	
Eddy Current	F	G	N	N	N	P	P	N	N	N	
Líquidos penetrantes	F	G	N	G	N	N	N	G	N	F	
Ultrasonido	P	G	G	G	G	F	G	F	F	P	

G=Bueno, F=Razonable, P=Malo, N=No recomendado

Tabla 2. Capacidad de las técnicas no destructivas para identificar daños en el acero. (AASHTO, 2011)(traducción propia)

**Método de Radiografía:** este método utiliza rayos X y la absorción de estos depende del espesor del elemento a examinar, se basa en que la absorción de rayos en zonas con problemas es menor que en zona en buenas condiciones. Las zonas de material aparecerán más oscuras en la radiografía. Tiene la ventaja de determinar defectos internos en forma y tamaño, sin embargo no ubica directamente el daño.

**Método de partículas magnéticas:** Es un método que se utiliza para evaluación de la superficie, se basa en esparcir partículas magnéticas sobre una superficie, dependiendo de la distribución de las mismas se pueden identificar discontinuidades en la superficie. Es un método portable y permite la detección de grietas delgadas.

**Método de Eddy Current:** es similar al de partículas magnéticas, pero utiliza una perturbación eléctrica en lugar de magnética. Se utiliza sólo para examinar superficies geoméricamente simples.

**Método basado en líquidos penetrantes:** es un método muy utilizado por los ingenieros para evaluar defectos en la superficie de un elemento, se basa en la aplicación de un líquido que podrá ser absorbido por la superficie dependiendo de la presencia de defectos.

**Método de ultrasonido:** se basa en la propagación de ondas de sonido a través de la estructura de acero, estas se comparan con patrones que pueden identificar discontinuidades. Tiene la ventaja de la portabilidad del equipo y la localización de grietas y defectos profundos.

### Pruebas destructivas (pruebas de laboratorio)

Las pruebas destructivas (DT, por sus siglas en inglés) requieren de una intervención directa en la estructura, ya que es necesaria la extracción de una muestra de material para fallarlo en

laboratorio. Esta intervención directa puede provocar esfuerzos adicionales en la estructura, por lo que su uso debe hacerse conociendo el comportamiento de la estructura.

Normalmente se extraen las muestras de zonas del puente sometidas a bajos esfuerzos, dado que se requiere representatividad en las muestras se extraen al menos 3 muestras. Además es necesario la reparación de la superficie.

Designación*	Título
C42/T 24	Method of Obtain and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
T 260	Sampling and Testing for Total Chloride Ion in Concrete Raw Materials
C823	Standar Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions
A610	Sampling Ferroalloys for Size (Before or After Shipment)
A673	Sampling Procedures for Impact Testing of Structural Steel (Charpy Test)
A370	Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

\*ASTM test methods are designed A or C. AASHTO test methods are designed T

**Tabla 3. Estándares ASTM y metodologías AASHTO para muestreo de materiales. (AASHTO, 2011)**

## Capacidad de carga de un puente

La capacidad de carga de un puente se puede dividir en (*White et al, 1992*):

Capacidad en la operación (operating rating): es el resultado de la carga permisible máxima

Capacidad residual (inventory rating): es el resultado de la carga que se puede aplicar en forma segura en un determinado período de tiempo.

Para determinar la capacidad de carga de una estructura se requiere:

Determinar la capacidad usando las propiedades de las secciones y los niveles de esfuerzos apropiados.

La carga muerta de la estructura.

La capacidad de carga viva disponible, realizando la diferencia entre la capacidad de carga total y la carga muerta.

La capacidad de carga viva requerida usando los estándares de la AASHTO, ejemplo HS20.

La razón entre la capacidad de carga viva disponible y la carga viva requerida.

### Determinación de capacidad de carga, según estándares de la AASHTO

El objetivo es calcular las condiciones físicas, necesidades de mantenimiento y capacidad de carga de puentes existentes. Para ello es importante tener claras algunas definiciones: (*AASHTO, 2011*)

- Evaluación: valoración de la condición existente.
- Falla: cuando se excede alguno de los estados límites.
- Estado límite: condición frontera en la cual el puente satisface los criterios para los que fue diseñado.

- Índice de confiabilidad: número que define la seguridad de la estructura, expresado como la desviación estándar de que la estructura se encuentre en una zona segura o de falla.

La capacidad de carga de un puente se basa en las condiciones estructurales, propiedades de los materiales, cargas, condiciones del tráfico y el sitio; existentes en el momento. Se debe calcular cada vez que se produzca cambios en algunas de las condiciones.

Para determinar esta capacidad se utilizan métodos analíticos o empíricos. Las pruebas de carga se utilizan como un método directo para obtener la capacidad de carga, cuando otros métodos no son aplicables o se necesita verificación.

Estas pruebas tienen limitaciones en estructuras complejas (puentes suspendidos, puentes atirantados o puentes de vigas en curva). En el caso de los puentes diseñados bajo el estándar HL-93, no requieren este cálculo.

### **Metodología de evaluación**

- Design load rating
- Legal load rating
- Permit load rating

En el estado límite el esfuerzo (strength) es prioritario para determinar la capacidad de carga.

### **Modelo de confiabilidad**

Un modelo de confiabilidad es una ecuación matemática que pretende determinar la probabilidad de ocurrencia de una falla. (Estes, 1997)

El deterioro de un puente es producto de diversos factores, entre ellos: edad, mantenimiento inadecuado e incremento de la carga. (Nowak, 2004)

Para determinar la condición del puente es necesario realizar diagnósticos tanto estructurales, como de los materiales. Los diagnósticos avanzados incluyen el monitoreo de la carga, la resistencia histórica y la evaluación del daño acumulado en la estructura con respecto al tiempo.

La actual ingeniería de puentes utiliza métodos probabilísticos para encontrar estas relaciones, uno de ellos es el método de montecarlo, el cual puede establecer los límites y/o condiciones de frontera entre la falla y la seguridad.

En las estructuras de puentes una falla se define como: “la inhabilidad para soportar tráfico” (Nowak, 2004). En la mayoría de los puentes las fallas más comunes son:

- agrietamiento
- corrosión
- deformaciones excesivas
- exceso de capacidad de momento y/o cortante



Los modelos de confiabilidad se pueden basar en tres tipos de estados límite:

- **ULS** (ultimate limits states): se relaciona con capacidad en flexión, cortante y estabilidad.
- **SLS** (service limits states): se relaciona con el deterioro gradual, confort y costo de mantenimiento.
- **Limit state** (fatiga): se analiza la acumulación de daño por aplicación repetitiva de carga (camiones).

### **Análisis del ULS para un puente**

El modelo de confiabilidad estará en función del estado límite, el cual se puede definir como: (Nowak, 2004)

$$g = R - Q$$

*R: Resistencia (capacidad momento)*

*Q: Efecto de carga (momento aplicado)*

$$g > 0 \text{ ---> estructura segura}$$

Probabilidad falla:

$$P_f = \text{Prob} (R - Q < 0) = \text{Prob} (g < 0)$$

### **Pruebas de carga no destructivas**

Una prueba de carga es una prueba que permite medir la respuesta de un puente de forma controlada y con cargas predeterminadas sin causar cambios en la respuesta elástica de la estructura.

Se usan para verificar tanto los componentes como el desempeño del sistema bajo cargas conocidas y es una metodología de evaluación alternativa para analizar la capacidad de carga del puente. Proveen suficientes datos para establecer de forma segura los niveles de carga viva para puentes antiguos.

***Existen dos tipos de prueba para evaluación de puentes:***

***Pruebas de diagnóstico:*** se usan para determinar la respuesta de ciertas características como cargas, distribución de cargas o validar procedimientos analíticos o modelos matemáticos.

***Pruebas de resistencia:*** se usan para establecer la capacidad máxima segura del puente, cuando el comportamiento del puente se encuentra fuera del rango elástico.

Las pruebas pueden ser dinámicas o estáticas. En las pruebas estáticas se usan cargas estacionarias para evitar vibraciones en el puente, la intensidad y posición de la carga varía durante el ensayo. En las pruebas dinámicas se usan cargas que varían con respecto al tiempo o cargas en movimiento que producen vibraciones en el puente.

Las pruebas dinámicas incluyen el análisis con vehículos en movimiento, la respuesta del comportamiento con el tráfico normal y el análisis de vibración para relacionarlo con la carga de sismo. Las pruebas estáticas de diagnóstico sirven para verificar y ajustar los modelos analíticos de predicción. Durante estas pruebas se aplican cargas suficientemente altas para propiciar un cambio en el comportamiento del puente. (AASHTO, 2011)

## **Monitoreo de estructuras**

ksjehfjkrhjdfhgjk

## Materiales y métodos

Para desarrollar esta investigación, se utilizó la siguiente metodología:

### **Determinación del índice de confiabilidad estructural**

Se inició con la búsqueda de un listado de las características de construcción de los puentes del Gran Área Metropolitana (GAM), lamentablemente no existe a nivel nacional esta información por lo tanto se elaboró un instrumento de clasificación de puentes basados en parámetros estructurales y utilizando el Manual de Inspección de Puentes del MOPT.

Se generó una base de datos prototipo para almacenar la información proveniente de las inspecciones visuales, la aplicación de pruebas sobre los materiales y el posterior monitoreo.

Se definió el tipo de estructura idónea para el estudio y se realizó una búsqueda de bibliografía especializada para ubicar un modelo de confiabilidad estructural teórico.

Se definieron e identificaron los posibles mecanismos de falla de un puente de acero de vigas continuas, utilizando los resultados de un modelo estructural teórico y el criterio experto.

Para ello se utilizaron los siguientes pasos:

- Identificación de potenciales fallas
- Identificación de las posibles causas y efectos de los mecanismos de falla
- Definición de factores de riesgo
- Definición herramientas de revisión de esas fallas

Además se caracterizó el puente piloto, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Inspección de inventario
- Inspección visual
- Levantamiento de planos
- Caracterización de la cuenca
- Caracterización de materiales utilizando pruebas destructivas y no destructivas
- Modelaje estructural teórico

Con base en lo anterior se calculó el índice de confiabilidad para el puente piloto

Se utilizaron en esta etapa varias herramientas de software:

- SAP 2000, para el análisis estructural
- AUTOCAD, para la confección de planos

- RTDacq, como software de adquisición de datos en prueba de carga
- Postgres, como motor de la base de datos prototipo
- gvSIG, herramienta para el sistema de información geográfica
- Minitab 16, para el análisis estadísticos de los datos obtenidos en las pruebas

### **Desarrollo de una infraestructura de recolección de datos por medio de la implementación de una red inalámbrica de sensores**

La infraestructura de recolección de datos, requirió de la selección en primera instancia del tipo de sensores para las variables críticas del proceso, además de un mapa de ubicación de los mismos. Una vez ejecutado este paso, se realizó el diseño del acople de los sensores a los nodos de sensado. Se validó que el acople de los sensores al nodo permitan que el sistema de medición sea estable y capaz, para lo cual se realizaron pruebas de concepto<sup>2</sup>. Para la implementación de la red de sensores se utilizó una topología de red tipo estrella, y el nodo coordinador de cada sub-red enviará la información recolectada en cada puente una base de datos central ubicada en el campus del TEC utilizando para ello la red de telefonía celular comercial.

### **Optimización del modelo de confiabilidad estructural**

Durante el proceso de selección del modelo de confiabilidad estructural de simulación, se realizó la validación del mismo, mediante un una prueba de carga que permitió la comparación con su desempeño estructural teórico, sin embargo, para convertir el modelo de simulación en un sistema predictivo de fallas potenciales, se necesita alimentar la simulación del modelo de confiabilidad estructural con parámetros que determinen escenarios de simulación lo más cercanos a la realidad.

### **Proposición un marco de regulación para la implementar de métricas de desempeño de la obra civil**

Una vez recopilada toda la información de los resultados del proyecto, se presentó una guía de buenas prácticas que se podría utilizar para la administración del mantenimiento de la obra civil. Para ello se realizaron una serie de reuniones con personeros del MOPT y el CONAVI para trabajar en equipo, en la definición de un marco regulatorio que permita la proliferación de los resultados obtenidos y la puesta en marcha de un programa piloto que utilice los resultados de la investigación como insumo para el mejoramiento de la calidad de la infraestructura vial del país.

---

<sup>2</sup> Ver anexo 1, informe de pruebas de concepto realizadas.

## Resultados

Los resultados principales de este proyecto se presentan a continuación y organizados por objetivos.

**Objetivo 1.** Identificar el modelo de confiabilidad estructural que se ajuste mejor a las características propias de la infraestructura del país, utilizando la comparación de simulaciones teóricas para los puentes seleccionados.

### ***1.1. Situación país en el tema de infraestructura de puentes<sup>3</sup>***

Al inicio del proyecto se consideró contar con información suministrada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes acerca del desempeño de los puentes y los principales modos de falla identificados en el país, con el fin de tomar como base esta información; sin embargo la misma no existe, por lo tanto se decidió realizar un análisis de la situación actual de la infraestructura de puentes en Costa Rica.

Este análisis se enfocó en investigar acerca de la gestión de infraestructura de puentes en los últimos años, caracterizar las funciones de los entes involucrados, presentar la situación vigente, investigar sobre la legislación existente en materia de puentes, identificar los principales riesgos asociados a la problemática de esta infraestructura y conocer la opinión de profesionales seleccionados en las áreas de diseño, construcción, evaluación, investigación y administración de puentes.

## Introducción

Un puente es una estructura de importancia vital en una estructura vial ya que se convierte en el eslabón más débil de la misma, sin embargo, durante muchos años, no se ha dado al sistema de puentes del país un mantenimiento adecuado, a pesar de la insistencia de los profesionales del sector.

La Red Vial de Costa Rica es de 35,000 km en longitud total y comprende la carretera internacional llamada Carretera Panamericana. Ya que el transporte predominante en Centro América es de tipo terrestre comparado con el transporte marítimo o aéreo, la mejora de la red vial es un factor clave en el desarrollo e integración de la economía en la región. Consecuentemente, es de comprensión general que el mantenimiento de carreteras deberá producir impactos inmensos y en la región de tipo socio-económicos en Centro América.

---

<sup>3</sup> Este informe se elaboró con base en información bibliográfica y consulta a expertos nacionales. Se contó con la colaboración de la estudiante Katherine Vargas Padilla.

En estas rutas nacionales se estima que existen alrededor de 1 330 puentes y estos sufren de un severo deterioro causado por los sismos, las crecidas de los ríos y el incrementado volumen de tráfico, la deficiencia en el mantenimiento de carreteras ha permitido que esos deterioros alcancen niveles cada vez más críticos. El Plan de Desarrollo Nacional de Costa Rica establece que la rehabilitación de puentes en las carreteras destinadas para el transporte de camiones es particularmente clave para acelerar el crecimiento de la economía en el país.

## Antecedentes

### Investigación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

Con base en un estudio realizado por la ingeniera María Ramírez (ex Directora de la Dirección de Puentes del MOPT), se tienen las siguientes estadísticas:

Clase de ruta	Cantidad de rutas	Metros lineales de puentes
Primaria	19	20 509.33 m (20.51 km)
		56%
Secundaria	103	9 049.26 m (9 km)
		25%
Terciarias	123	6 828.86 m (6.83 km)
		19%
<b>TOTAL</b>	<b>245</b>	<b>36 387.45 m (36.39 km)</b>
		<b>100%</b>

Tabla 1. Puentes existentes en la red vial nacional (Ramírez, 2011)

De esta información se deduce un total de 36.39 km de puentes, de una longitud promedio de 27.3m y ancho promedio de 8.20m (10.90m-2 vías y 5.50m-1 vía), además el valor de reposición de esta infraestructura se estima en \$597 millones (\$2000/m<sup>2</sup>). De estos 90.6% son puentes sobre ríos y quebradas, 79% son de longitud menor a 35m, 82.3% son estructuras de concreto. Sin embargo se evidencia la urgencia de contar con un inventario real de estas estructuras.

Considerando que el periodo de construcción más activo en el país fue la década del 1955-1965, alrededor del 40% de los puentes existentes están al fin de su vida útil de 50 años, razón por la cual se requiere ser intervenidos con rehabilitación o sustitución. Estos puentes forman parte de un programa para reconstrucción, rehabilitación y mejora implementado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), que se planeó ejecutar entre el 2010 y 2014, no obstante no se ha logrado gran avance.

De acuerdo con lo expuesto por la Ingeniera Ramírez, los principales problemas en materia de puentes en este país radican en los aspectos que se detallan a continuación:

#### Aspectos relacionados con el MOPT y el CONAVI

- Número insuficiente de Inspectores calificados, equipo técnico para dar un diagnóstico.
- Número insuficiente de personas en la planificación de obras de Mantenimiento y Reforzamiento.
- Sistema de Administración de Puentes poco confiable.
- Capacitación insuficiente para los ingenieros de Puentes.
- Manuales de Inspección inadecuados.
- Inadecuadas especificaciones de Diagnóstico.
- Presupuesto insuficiente en el Departamento de Puentes para las actividades de Mantenimiento de Puentes.
- Presupuesto insuficiente de parte de CONAVI para el Mantenimiento de Puentes.

#### Aspectos relacionados con otros Ministerios e Instituciones

- Debido a que no es una prioridad política, las autoridades de Planificación no ponen la debida atención al mantenimiento de los puentes existentes.
- Debido a la limitación de recursos, las autoridades financieras tampoco ponen atención especial al mantenimiento de puentes.
- Tanto las autoridades de planificación como las financieras no están consientes de la importancia de la Administración de Bienes.

#### Universidad de Costa Rica y otras Instituciones de Investigación

- No existen cursos especiales de Ingeniería de Puentes.
- Existen pocos especialistas en Ingeniería de Puentes y Mantenimiento.
- A pesar de que algunos de los investigadores comprenden los conceptos de Administración de Bienes y Costo del Ciclo de Vida, no existen programas de estudio especiales en Administración de Bienes y especialmente de puentes.

#### Sector Privado (Contratistas y Compañías de Diseño)

- Entendimiento insuficiente de Administración de Bienes.
- Existen pocos Ingenieros de Puentes y estos ingenieros son graduados generalmente como ingenieros civiles, quienes son entrenados dentro de las compañías.
- Falta de oportunidades para aprender técnicas de inspección y diagnóstico de puentes.
- Falta de equipo especial de inspección y software para el diagnóstico.
- No hay mercado en actividades de Mantenimiento de Caminos y Puentes por ser parte del MOPT y CONAVI.
- Existen pocas oportunidades para vincularse en proyectos conjuntamente con el sector público.

### Sociedad (Conductores, Pasajeros y Ciudadanos)

- A pesar de que existen regulaciones de pesos de camiones, hay muchos camiones y containers circulando con sobrecarga.
- Como usuarios de los puentes, los camioneros, conductores, pasajeros no están consientes de la importancia del mantenimiento de puentes.
- El término de Administración de Bienes es poco conocido dentro de la sociedad.
- Los ciudadanos no están muy satisfechos con el estado los puentes existentes y no están dispuestos a pagar más impuestos para el mantenimiento de las estructuras existentes.
- Los ciudadanos están contribuyendo únicamente para la construcción de puentes nuevos.

### **Papel de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA)**

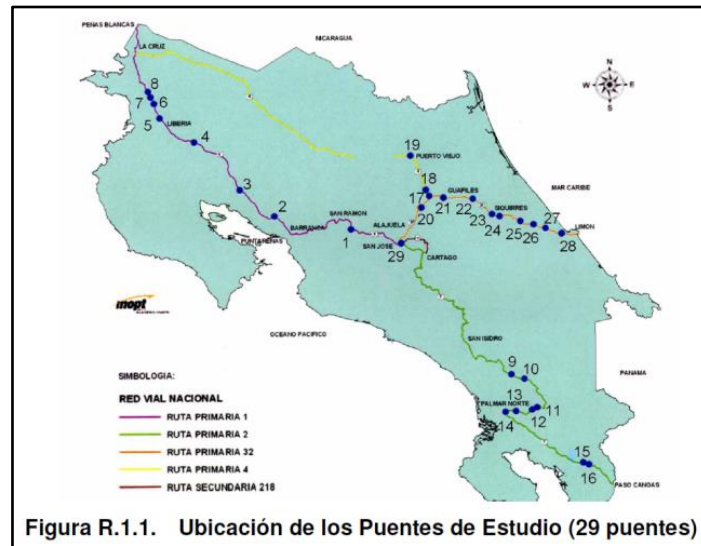
Debido a la deficiencia en estos aspectos, el Gobierno de Costa Rica solicitó al Gobierno de Japón implementar la asistencia técnica en el sistema de administración de puentes. En respuesta a esta solicitud se decidió conducir un estudio en puentes objetivo en las carreteras de transporte de camiones enfocado en la asistencia para el desarrollo de capacidad para el reforzamiento, rehabilitación y administración de puentes.

En febrero de 2007, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) entregó el informe final del “Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de Puentes basado en 29 Puentes de la Red de Carreteras Nacionales”.

Los objetivos principales del estudio se establecen a continuación:

- Apoyar la implementación del programa de desarrollo de capacidad para el Sistema de Administración de Puentes a nivel individual, organizacional y social/institucional.
- Conducir el diagnóstico de puentes y evaluar su condición actual.
- Formular el Plan de rehabilitación/reforzamiento/mejora en los 10 puentes prioritarios.
- Elaborar los planes de diseño de la rehabilitación/reforzamiento/mejora en los 10 puentes prioritarios.
- Conducir la planificación y el análisis económico el estimado de costo/construcción preliminar.
- Establecer el Sistema de Administración de Puentes (SAP) como herramienta práctica para implementar el mantenimiento de puentes.
- Elaborar los Manuales y Lineamientos estándares en la inspección de puentes y en la rehabilitación/reforzamiento/mejora y mantenimiento de los puentes.
- Apoyar la información ambiental relevante de acuerdo al Lineamiento de JICA para las consideraciones ambientales y sociales, que serán necesarias de efectuar antes de la implementación de la rehabilitación/reforzamiento/mejora.





**Figura 2. Ubicación de los puentes estudiados con proyecto internacional (JICA, 2007)**

Dicho proyecto se estructuró tanto de manera técnica como administrativa para alcanzar los objetivos planteados.

JICA presentó un informe de labores al MOPT, al terminar el estudio, así como el software complementario "Sistema de Administración de Estructuras de Puentes" (SAEP) con guías de mantenimiento, manuales y lineamientos.

El SAEP (Sistema de Administración de Estructuras de Puentes) se estableció como una herramienta de apoyo para tener criterio técnico al implementar las inspecciones, la evaluación, el análisis y mantenimiento de los componentes estructurales del puente. Las funciones del sistema son las siguientes:

- Registro y renovación de datos.
- Administración de datos tales como la evaluación de la eficiencia.
- Recuperación de datos incluyendo inventario de puentes y datos de inspección de puentes y ventana para la ubicación del puente.
- Salida del inventario de puentes.

Esta herramienta informática cuenta con base de datos y 3 sistemas de evaluación con el fin de compartir información, trabajar eficientemente y planificar la rehabilitación de puentes de forma adecuada. Los objetivos de dicho paquete se resumen en:

- Unificar la información bajo un mismo esquema.
- Facilitar la búsqueda y adquisición de datos.
- Mejorar la calidad de la información almacenada.
- Determinar el grado de deterioro de las estructuras.
- Estimar el costo aproximado de las reparaciones.
- Priorizar las rehabilitaciones.

Desafortunadamente, esta herramienta no ha podido ser implementada y a la fecha requiere de una actualización debido al avance en el área informática.

Con respecto a los entes que tienen a cargo la toma de decisiones en esta temática se pueden identificar:

### Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes es por ley el ente Rector en la temática de puentes. Dentro de los asuntos viales que competen al MOPT, está la base de datos de puentes, disponible en la Dirección General de Planificación Sectorial; que constituye una herramienta muy útil para realizar la planeación, diseño, construcción, mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de los puentes, que son elementos vitales de la infraestructura vial.

La Dirección General de Planificación tiene desarrollado en un 90% el módulo de datos. Sin embargo, todavía se requiere desarrollar criterios para completar, el módulo de mantenimiento rutinario, ampliar el módulo de reportes y crear un sistema de administración de puentes en sentido riguroso.

Durante mucho tiempo en el MOPT se contó con un archivo de tarjetas con las dimensiones de cada uno de los elementos de los puentes y su nombre, estos se hacían acompañar de una pequeña fotografía de la estructura, posteriormente se decidió elaborar una nueva guía para recopilar los datos de campo que consta de los tres componentes que todo puente debe tener, y se creó la Base de Datos que contiene toda esta información.

Actualmente se tienen identificados 1338 puentes<sup>4</sup>. De todos estos la distribución de puentes por tipo de estructuración de elementos críticos es la siguiente:

Tipo de estructura	Total de puentes	Número de puentes con elementos críticos <sup>5</sup>
Concreto	929	623
Acero	178	152
Madera	79	63
Alcantarilla cuadro	97	70
Puente inexistente	12	0
Paso superior	22	8
Paso inferior	14	3
Alcantarilla de acero corrugado	4	6
Tubo de concreto	3	2
<b>TOTAL</b>	<b>1338</b>	<b>927</b>

Tabla 2. Puentes identificados con algún daño en rutas nacionales (Ramírez, 2011)

Rango de dimensión	Cantidad
--------------------	----------

<sup>4</sup> Este número de puentes identificados no se encuentran inventariados ya que la información disponible de cada uno no está completa.

<sup>5</sup> No se tiene identificado el tipo de daño ni su nivel.

6 – 15 m	717
16 – 30 m	294
31 – 60 m	211
61 – 100 m	75
101 – 150 m	18
Más de 151 m	23
<b>TOTAL</b>	<b>1338</b>

**Tabla 3. Puentes identificados por longitud en rutas nacionales (Ramírez, 2011)**

De la tabla 2 se puede observar que un 69% de los puentes presentan algún tipo de daño.

Es importante mencionar que la Dirección de puentes del MOPT cuenta actualmente solamente con 3 ingenieros civiles y una ingeniera en informática, lo cual para el volumen de trabajo es poco.

### **Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)**

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), es el otro ente involucrado en la construcción y conservación de la red vial del país, por ende le competen además en materia de puentes lo relacionado con la rehabilitación de estos, pues entre sus funciones destaca la de construir, rehabilitar y dar mantenimiento a la Red Vial Nacional Estratégica que contribuya con el turismo y la producción del país.

Este órgano es el encargado de dictar las especificaciones generales para la Conservación de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica, está a cargo de definir el presupuesto y tomar las decisiones en el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras. La inspección primaria, la actualización de la información en la base de datos del inventario y el plan de prioridad para el manteniendo están a cargo del MOPT.

### **Situación actual**

Actualmente, el país cuenta con 2.830 pasos de ríos, sobre la Red Vial Nacional, de estos pasos 1.304 estructuras se clasifican como puentes. De estos un 75% tienen una longitud menor a los treinta metros, o sea, estos son los que hemos llamado puentes menores. Puentes con longitudes entre 30 y 60 metros conforman un 16% de los puentes nacionales y el resto (9%) tienen longitudes superiores. De los puentes menores, 70 están construidos con troncos de madera y se ubican en todo el país, concentrándose en la zona norte y atlántica, otrora zonas alejadas pero que actualmente generan turismo y cargas de producción importantes.

Otro dato de interés es que un 4% de los puentes fue construido hace más de 50 años, y los puentes no consideraron este tipo de carga porque los criterios de diseño eran otros. Muchos están en la Carretera Interamericana que fue construida a lo largo de Centroamérica con ayuda del Gobierno de los Estados Unidos. (MOPT, 2012).

La situación actual de los puentes en el país, es un asunto incierto en aspectos de mantenimiento, capacidad, inspección y estado.

Según el ingeniero Ronald Flores del MOPT, a noviembre de 2009 se tiene registro de 1.330 puentes en mal estado, además de gran número que han colapsado o han sido clausuradas.

Los casos más conocidos son los siguientes:

- Puente en Nandayure, el cual cayó producto de las fuertes corrientes del río.
- Puente sobre el río Grande de Tárcoles, entre Turrubares y Orotina.
- Puentes de los ríos Rincón en Puerto Jiménez de Golfito, río Burro entre San Ramón y La Fortuna de San Carlos, río Convento en San Rafael de Escazú.
- Puente de la platina sobre el río Virilla

Flores apunta que: "(...) la lista se ha venido haciendo grande, pues está saliendo a flote la verdadera situación del país en materia vial y de puentes: estamos mal, muy mal." (Flores, 2012)

Al parecer el grado de deterioro de los puentes ya lo había establecido un estudio técnico realizado por expertos japoneses y este indicó que 1.330 puentes del país presentan un severo deterioro y 29 de ellos se consideran en estado crítico, es decir, un estado grave que amerita una intervención inmediata.

La gravedad del asunto radica en el hecho de que durante muchos años no se ha dado al sistema de puentes un mantenimiento adecuado. El Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes conocía y validó la importancia de ese estudio de la agencia de cooperación japonesa Jaica. A su vez el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, desde septiembre, había señalado con toda claridad la seria problemática. De esta forma le pidió públicamente al Gobierno que decretase como una situación de emergencia nacional el mantenimiento de los puentes de las principales rutas nacionales.

### **Dudas sobre estado de los puentes**

Según señala un artículo publicado en La Nación, la confianza en los métodos aplicados a la construcción de puentes en la red vial nacional, por ejemplo, debió haber disminuido desde el terremoto de Limón, en 1991, cuando este causó el colapso de cinco puentes importantes y trece de menos relevancia. (La Nación, 2012)

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) decidió refrescar el recuerdo para dramatizar las consecuencias de construir los puentes sin apego a un código sísmico específico, capaz de garantizar la resistencia de esas estructuras. Según el Lanamme, nuestros puentes tienen problemas relacionados con la capacidad de carga y la resistencia sísmica. Es necesario incorporarles elementos estructurales para impedir el desplazamiento. "Los puentes tienen hoy, si acaso, bases de 30 centímetros de ancho y en un fuerte temblor se mueven para los lados. Si se salen de la base, toda la estructura cae", dice Rolando Castillo, ingeniero de Lanamme.

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) admite la inexistencia de un código sísmico específico para los puentes, pero dice estar aplicando las normas comunes aprobadas para las demás edificaciones, así como las reglas internacionales. Todos los nuevos puentes son producto

de un estudio previo y su construcción se ejecuta dentro de rigurosas medidas de calidad, dice María Lorena López, ex viceministra de Obras Públicas.

En cualquier caso, la principal preocupación se centra en los puentes construidos en el pasado. Hay 1.338 estructuras de ese tipo en territorio nacional y, además del temor a la construcción inadecuada, existe preocupación por el desgaste a lo largo de los años y la falta de mantenimiento. En algunos casos, se trata de estructuras cuya vida útil expiró o cuya capacidad de carga es significativamente menor al tránsito soportado en la actualidad.

### **Utilización de Puentes Temporales**

Según un artículo publicado en la Nación, Costa Rica tiene ochenta estructuras 'baileys' con hasta 48 años de antigüedad. En un país como el nuestro, este tipo de estructuras se utilizan como medidas para resolver los problemas de tránsito temporales, sin embargo se mantienen por largos años sin siquiera recibir mantenimiento.

Según estimó José Luis Salas, director del Consejo Nacional de Vialidad, un puente metálico de 55 metros tipo *bailey* cuesta €200 millones, mientras, un paso elevado de concreto con las mismas dimensiones podría costar hasta €1.000 millones, de ahí el atractivo principal de los mismos.

José Chacón Laurito, viceministro de infraestructura del MOPT, reconoce que el país tiene un rezago en inversión vial y que el dinero no alcanza para cambiar los *baileys* instalados.

Un puente "*bailey*", con adecuado mantenimiento tiene una vida útil de 30 años, no obstante los instalados en el país llevan más de 48 años en uso. La sustitución no depende de los años que lleven instalados, sino del lugar donde se ubican, la urgencia, si es una zona urbana o suburbana, o si es un área de alto tránsito, de manera que estos elementos ya forman parte del paisaje cotidiano nacional.

Legislación sobre puentes

La Asociación Americana de Autopista Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO) ha sido adoptada para el diseño estándar de puentes para los puentes de las carreteras nacionales en Costa Rica, de manera que los criterios de diseño utilizados se fundamentan en sus directrices.

No obstante, la legislación nacional existente sobre diseño y construcción de puentes, es un tema de importancia mayor, en la actualidad es clara la necesidad de contar con directrices específicas en esta materia.

Según señala la ex viceministra de obras públicas María Lorena López en un artículo publicado en La Nación en enero del presente año, "(...) Tanto el Lanamme, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, como el MOPT vienen haciendo esfuerzos para producir este código desde hace varios años y estoy segura de que, como anexo al Código Sísmico de Costa Rica 2010 (código que guía a los profesionales en la construcción y diseño de edificaciones y otras obras civiles) resultará de mucho valor." (López, M. 2012)

La ex viceministra aclara que: "En el caso de nuestro país desde los años 50 el diseño de las estructuras de puentes se basó en la normativa AASHO (American Association of State Highway Officials), la cual a partir del año 1973 pasó a llamarse AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Cabe aclarar que desde el año 1958, se publican por primera vez criterios de diseño sísmico. Por lo cual los puentes de Costa Rica han seguido un proceso de evolución de la mano de la AASHTO, la cual es una normativa internacionalmente reconocida."

De manera que no se está en una situación de desamparo y abandono total, aunque no por esto se puede obviar el hecho de que este código es de particular interés para el país.

Ante la ausencia de reglamento, el Lanamme prepara un código para puentes, pero aún no se utiliza oficialmente.

Ese documento es revisado por la comisión permanente del *Código sísmico de Costa Rica* y luego de ello se podrá usar como código independiente al de edificaciones.

Según el ingeniero estructural Rolando Castillo, el nuevo código sísmico para pasos tiene una serie de medidas de seguridad que el código de edificaciones no incluye, entre ellas el tope sísmico, que impide que la losa se desplace fuera de las bases.

También, contiene objetivos de desempeño para la rehabilitación sísmica y requisitos mínimos para el diagnóstico preliminar de los puentes que están hoy en día.

## **Riesgos**

En un país sísmico como el nuestro, el mayor riesgo lo constituye no contar con criterios técnicos para la construcción de puentes que permita soportar estos movimientos.

En un artículo publicado por la Nación en diciembre de 2011, el ingeniero Castillo del Lanamme se refiere al tema e indica al respecto que: " Esto ocurre porque no existe un código sísmico exclusivo para esas estructuras (...)"

"La principal consecuencia de la falta de un código sísmico para puentes es que las losas (zona por la cual pasan directamente los vehículos) se asientan sobre bases muy estrechas." De manera que los desplazamientos en las mismas alcanzan niveles importantes, los cuales deben controlarse y tratarse.

Algunas recomendaciones que dictó el ingeniero hacen referencia a impedir que las estructuras se desprendan de sus bases, incluir en el diseño elementos que les permitan soportar sismos sin que se desplomen, así como el mantenimiento riguroso.

Según publicó La Nación, "Los contratos de inspección vial incluyen la revisión de cientos de puentes en todo el país. (...)" ; estas inspecciones arrojan resultados alarmantes que indican que la mayor parte de los puentes deben ser intervenidos de forma inmediata pues muchos presentan riesgo inminente de impedimento del paso vehicular por el mal estado.

Tales son los casos de los cuatro puentes que están en la carretera Interamericana Norte, la principal vía de acceso a Guanacaste y Nicaragua, y ruta de paso de turistas y transporte centroamericano. Las estructuras están sobre los ríos Barranca, Aranjuez, Guacimal y Seco, por mencionar algunos ejemplos, pues los llamados "puentes menores" del país no escapan al riesgo.

Estas estructuras presentan daños en la superficie de ruedo pues las losas están con altos deterioros, desplazamientos en las bases, problemas en las juntas de expansión, conexiones entre otros aspectos que afectan el adecuado comportamiento estructural de los mismos.

De ahí la necesidad de minimizar estos daños y establecer medidas de prevención.

### **Opinión de Expertos Nacionales**

Con base en los resultados obtenidos de una encuesta aplicada<sup>6</sup> a profesionales que se desenvuelven en los campos tanto de Diseño, Construcción, Evaluación, Investigación como Administración de Infraestructuras de Puentes, se obtienen las siguientes opiniones.

- Se está de acuerdo con que existen deficiencias en la administración de estructuras de puentes del país.
- Las principales deficiencias en administración de puentes radican en falta de capacitación, falta de planificación y falta de mantenimiento preventivo.
- Es sumamente importante incluir en los planes de estudio de las carreras de ingeniería civil y construcción el tema de estructuras de puentes a nivel de grado.
- Es necesario contar con inspectores capacitados y/o equipo técnico para dar un mejor diagnóstico del estado del puente.

El señor Dennis Aparicio, del área administrativa indica lo siguiente: *"Tenemos gran cantidad de puentes en el país, la falta de mantenimiento y el aumento en los niveles de servicio, supone que se debe analizar oportunamente estos puentes. Desde la inspección visual hasta resultados tecnológicos de última generación, darían un diagnóstico más acertado y en un tiempo menor."*

- Es necesario aumentar el número de personas involucradas en la planificación de obras de mantenimiento y reforzamiento.

El señor Mariano Avilés Cisneros , del área administrativa y de evaluación indica al respecto: *"Desconozco como lo hace el CONAVI, pero a nivel cantonal, un único ingeniero que tenga que administrar los recursos tanto municipales como atender las distintas comunidades y además tener que diseñar y planificar obras de canalización pluvial, pavimentos, así como atender la problemática de los puentes, considero que es demasiado trabajo de escritorio para un solo profesional."*

---

<sup>6</sup> Ver Anexo 2. Encuesta de opinión a profesionales costarricenses en el área de puentes.

- Con respecto a si Costa Rica deba implementar legislación particular en materia de puentes. El señor Dennis Aparicio, del área administrativa indica lo siguiente: *"Existe normativa vigente que rige la materia."*
- Se considera que el ente regulador por excelencia en lo relacionado con estructuras de puentes es el MOPT.

El señor Dennis Aparicio, del área administrativa indica lo siguiente: *"Tanto la ley de Caminos como el Reglamento N°34624, establece claramente que el MOPT es el Ente regulador en materia vial."*

El señor Álvaro Poveda, del área de evaluación se refiere al CONAVI y a las municipalidades indica lo siguiente: *"Son los entes con mayor presupuesto y capacitación para lograr los objetivos establecidos"*.

- Aunque se conoce sobre sistemas de información para administración de puentes en el país no se ha utilizado ninguno.

Finalmente, a pesar del esfuerzo realizado por la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA) en el 2007, no se implementó ni la metodología ni tecnología utilizada, para futuras evaluaciones en los puentes del país, de manera que aún no se cuenta con un sistema que promueva una gestión adecuada de tal infraestructura.

Ni el MOPT ni el CONAVI, en su papel de entes veladores por los puentes nacionales, cuentan con el personal capacitado, equipo adecuado, normas definidas y recursos necesarios para implementar una administración eficiente en esta materia.

El sistema actual de administración de infraestructura de puentes del país no cuenta con las herramientas ni tecnología necesaria para ejecutar una adecuada gestión de los puentes existentes.

Se carece de políticas de decisión sólidas, definidas, y claras que permitan ejecutar acciones concretas para mejorar los aspectos relacionados con funcionamiento y servicio de los puentes nacionales.

Ante la no ejecución de planes de prevención y corrección, existe un riesgo inminente de fallas en el funcionamiento de puentes que ponen en peligro tanto el desarrollo económico como social de la nación.

Los profesionales del campo coinciden con que es necesario implementar técnicas para capacitación adecuada del personal involucrado en la gestión de esta infraestructura debido a que el país carece de técnicas adecuadas de inspección, evaluación y mejoramiento.

Para realizar este informe del estado de los puentes se consultó el material que se detalla a continuación y los profesionales indicados a continuación:

<i>Aparicio Rivera, Dennis. Entrevista con Dennis Aparicio Rivera. Coordinador de Unidad Técnica de Gestión Municipal de</i>
--



Cartago. Cartago, Costa Rica. 5 de setiembre, 2012.

Avilés Cisneros, Mariano. Entrevista con Mariano Avilés Cisneros. Coordinador de Unidad Técnica de Gestión Municipal del Guarco. Cartago, Costa Rica. 4 de setiembre, 2012.

Castillo, R. "Lanamme advierte de riesgo ante fuertes temblores. País construye puentes sin seguir criterios antisísmicos." *La Nación*. (San José, C.R.), 24 de diciembre, 2011. Tomado desde <http://www.nacion.com/2011-12-24/ElPais/Paisconstruye-puentes-sin-seguir-criterios-antisismicos.aspx>. Consultado 30 de julio, 2012 a las 12:30 p.m.

Castillo, Rolando. Entrevista con el Ing. Rolando Castillo. Coordinador Programa de Puentes Lanamme. San José, Costa Rica. 11 de setiembre, 2012.

Editorial. "Dudas sobre puentes". *La Nación*. (San José, C.R.), 07 de enero, 2012. Tomado desde <http://www.nacion.com/2012-01-07/Opinion/Dudas-sobre-los-puentes.aspx>. Consultado el 27 de julio de 2012 a las 3:00 p.m.

Flores, R. "Situación de Alama en Costa Rica". Tomado desde <http://paginaabierta.cr/index.php/articulos/36-nacionales/188-situacion-de-alarma-en-costa-rica.html>. Consultado el 26 de julio de 2012 a las 2:30 p.m. Escrito por Redacción el 24 de noviembre de 2009.

Loaiza, V. "País tiene 80 estructuras 'baileys' con hasta 48 años de antigüedad. Puentes temporales se vuelven eternos porque son más baratos." *La Nación*. (San José, C.R.), 09 de julio, 2012. Tomado desde <http://www.nacion.com/2012-07-09/Portada/Puentes-temporales-se-vuelven-eternos-porque-son-mas-baratos.aspxv>. Consultado el 27 de julio de 2012 a las 1:45 p.m.

Loaiza, V. "Siete puentes necesitan reparación pronta, advierten ingenieros." *La Nación*. (San José, C.R.), 22 de febrero, 2010. Tomado desde <http://www.nacion.com/ln-ee/2010/febrero/22/pais2275510.html>. Consultado 30 de julio, 2012, a las 4:10 p.m.

López, M. "Puentes seguros: La prioridad de los puentes en esta administración es sin precedentes." *La Nación*. (San José, C.R.), 14 de enero, 2012. Tomado desde <http://www.nacion.com/2012-01-14/Opinion/puentes-seguros.aspx>. Consultado 27 de julio, 2012, a las 3:30 p.m.

Loría Galagarza, Mario. Entrevista con el Ing. Mario Loría. Dirección de Puentes. MOPT. San José, Costa Rica. 20 de setiembre, 2012.

Loría Salazar, Guillermo. Entrevista con el Ing. Guillermo Loría. Coordinador PITRA Lanamme. San José, Costa Rica. 11 de setiembre, 2012.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *El sistema de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes*. Tomado desde la página del MOPT <http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/puentes.asp>. Consultado el 26 de julio de 2012 a las 1:15 p.m.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *Informe Final sobre el Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de Puentes basado en 29 Puentes de la Red de Carreteras Nacionales*. Agencia de Cooperación Internacional de Japón. San José, Costa Rica. Febrero, 2007.

Oliver P. "Atrasos en mejoras de dos puentes en Nicoya." Tomado desde [http://www.vivaguanacaste.com/index.php/politica\\_y\\_sociedad/atrasos\\_en\\_mejors\\_de\\_ds\\_puentes\\_en\\_nicoya\\_.html](http://www.vivaguanacaste.com/index.php/politica_y_sociedad/atrasos_en_mejors_de_ds_puentes_en_nicoya_.html).

*Consultado el 26 de julio de 2012 a la 4:00 p.m.*

*Poveda, Álvaro. Entrevista con el Ing. Álvaro Poveda. Comisión Permanente del Código Sísmico. Cartago, Costa Rica. 4 de setiembre, 2012.*

*Ramírez, M. Seminario Estructuras de Puentes. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2011. Situación del país en Infraestructura de Puentes. Cartago, C.R. 26 de julio de 2011.*

**Tabla 4. Fuentes consultadas para presentar situación actual sobre estructuras de puentes en Costa Rica**

## 1.2. Puente sobre Río Purires, puente piloto

Tal y como se propuso al inicio de esta investigación para aplicar los conceptos y metodologías propuestas se hizo necesario la selección de un puente piloto de estudio.

Para esta selección se definieron los siguientes criterios, basados en la experiencia de los investigadores y la asesoría recibido por parte del programa LPBT de Virginia Tech<sup>7</sup>:

- **Representatividad de la estructura en la red nacional de puentes.** Si bien es cierto no existe un inventario completo de los puentes del país, se conocen algunos detalles sobre las estructuras que se han construido, y se busca un puente que sea representativo de un número importante de estructuras.
- **Presencia de algún daño sobre la estructura que permita su posible estimación.** Es importante que el puente no estuviera en un excelente estado, de tal manera que se pueda no solo ubicar el daño, sino que se pueda evaluar su extensión y tipificarlo.
- **Importancia económica.** Se requería que el puente tenga una importancia económica para el país, en otras palabras que su posible falla sea de alto impacto a la economía nacional.
- **Configuración estructural sencilla.** Se buscó además que el modelo estructural del puente fuera sencillo, de tal manera que los parámetros a verificar se pudieran lograr.
- **Cercanía con el TEC.** Dado que es un proyecto piloto, el número de visitas al sitio en un inicio será alto, por lo tanto se busca un puente cercano, de tal manera que el desplazamiento no sea un factor en contra.
- **Facilidad de acceso.** Dado que el alquiler y traslado de equipo para inspección de puentes podría convertirse en un obstáculo, se buscó un puente cuyo acceso fuera sencillo.

Según Chase *et al.* (1998) las razones básicas por las que se debe seleccionar un SIG para apoyar la selección de este prototipo son:

- La posibilidad de manipular datos georeferenciados.
- Las herramientas de interpolación espacial que permiten el desarrollo de modelos medioambientales y datos de las amenazas naturales como superficies continuas en 3D.
- La capacidad de integración de datos espaciales de diferentes fuentes y la posibilidad de representación de vectores y raster, además de su manejo a través de operaciones espaciales de superposición.
- La capacidad para mantener una relación entre la representación espacial y los atributos de la base de datos.

---

<sup>7</sup> En el mes de Julio del 2011 se recibió la visita de tres expertos de Virginia Tech, los cuales no solo participaron en un seminario para la comunidad nacional, sino que trabajaron con el grupo de investigación en recomendaciones para el desarrollo del proyecto. Ver Anexo 3: Visita de expertos de Virginia Tech.

Para determinar dicho puente, se utilizó en primer lugar un sistema de información geográfica que permitiera encontrar intersecciones entre las calles y ríos, determinando en primera instancia puntos en los cuales pudiera encontrarse una estructura de puente.

Nombre del Río	Río Toyogres	Río Aguacaliente	Río Juco
Ubicación	Provincia: Cartago Cantones: Oreamuno	Provincia: Cartago Cantón: Paraíso	Provincia: Cartago Cantón: Paraíso
Coord X WGS84	-83.908897	-83.866798	-83.844902
Coord Y WGS84	9.86151	9.80759	9.78327
Cobertura telefonía móvil (Sí-No)	Sí	Sí	Sí
Intensidad de la señal telefonía móvil (buena-regular-mala)	GSM Buena - 3G Buena	GSM Mala - 3G Buena	GSM Buena - 3G Buena
Acceso a la electricidad (distancia poste más cercano)	Sí	Sí	Sí
Datos del poste para contactar empresa eléctrica	P26123 (JASEC)	Pice1 - Pice2 (madera pequeño deteriorado)	PICE3 (ICE Alumbrado) - PICE4 (ICE Eléctrico) - PICE5 (ICE Alumbrado)
Altura del nivel del piso al puente	20 metros	20 metros	4 metros

Tabla 5. Datos evaluados en campo para selección del puente piloto

## Selección de puente piloto

El puente sobre el río Purires es muy importante para el transporte nacional y la conexión entre los países americanos pues forma parte de un sistema de carreteras (25 800 km de largo), que vincula casi a todos los países del hemisferio occidental del continente americano.

La estructura del puente sobre el Río Purires se basa en vigas de acero y una losa de concreto luego de una inspección detallada se determinó que su estado es regular. Este tipo de puente es común en las rutas principales de Costa Rica, especialmente en los construidos entre los años 1950 y 1960, por la cooperación de la armada de los Estados Unidos.

Se determinó que el puente Purires tienen características que lo hacen sencillo de instrumentar lo cual reduce los costos del proyecto. Tiene buen acceso a la electricidad pues se encuentran cerca cuatro postes de la Junta Administrativa de Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC). En el sitio hay una buena recepción de señal de telefonía GSM y 3G del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La altura del nivel del piso al puente en la parte más profunda es aproximadamente de cuatro metros lo que facilita la instrumentación.

El puente más cercano al Tecnológico de Costa Rica (TEC) que cumplió con ser una estructura con importancia económica para el país, representativa y fácil de instrumentar fue el puente sobre el Río Purires que se encuentra a 10 km del TEC.

## **Caracterización del puente sobre el Río Purires**

Para la caracterización de la estructura seleccionada como piloto, se realizaron evaluaciones cualitativas (inspección visual) y cuantitativa (aplicación de pruebas no destructivas y destructivas), además se elaboró un modelaje estructural teórico utilizando el programa SAP 2000.

### **Caracterización de la cuenca**

**CASIA**

## Inspección visual

La inspección visual es un proceso no destructivo y de bajo costo, permite recopilar información básica sobre un elemento o estructura, para su archivo, evaluación y toma de acciones posteriores. Esta es una de las metodologías más comunes aplicadas en el mundo, ya que para realizarla no se necesita ningún equipo especializado o costoso, como se utiliza en otros procesos de inspección. Cabe destacar, que se efectúa muchas veces como la primera opción de los métodos para determinar el estado de un elemento, y es a partir de aquí, dependiendo de la información brindada que se analiza la necesidad de hacer más estudios.

Uno de los productos a destacar en este proyecto, es la propuesta de una metodología de evaluación que incluye aspectos cualitativos como cuantitativos, a continuación se presenta el esquema seguido en eBridge para la evaluación de puentes:



**Figura 3. Resumen de los elementos utilizados en eBridge para la evaluación de estructuras de puentes**

En el caso del proyecto eBridge, se realizó la Inspección Visual<sup>8</sup> utilizando como base los diferentes formularios de Inspección de Puentes, elaborados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT 2007), los cuales se recopilan en el Manual de Inspección de Puentes. Se utilizó esta metodología para estar acorde con la normativa nacional y que los datos recopilados puedan en un futuro ser parte de una base de datos nacional. (MOPT, 2007)

El puente en análisis denominado “Purires”, se ubica en la ruta nacional número 2, en las coordenadas 9°50’2.98” (latitud) y -83°57’5.43” (longitud). Es un puente de vigas continuas de acero W27X94, de 39.45m de longitud total y distancia promedio entre apoyos menor a 15 m, cuenta con 4 puntos de apoyo. Posee una losa de concreto de 15 cm de espesor con refuerzo de acero #6 cada 15 cm de forma transversal y cada 25 cm longitudinalmente y una sobre capa de

<sup>8</sup> Para la realización de la inspección visual se contó con el apoyo de los estudiantes Pablo Tames y Adriana Vega, asistentes del proyecto de investigación.

asfalto que varía entre 14 y 7 cm de espesor. Posee dos carriles y doble vía y el promedio diario de vehículos es de 11318, el ancho de la superficie de rueda es de 6.6m y cuenta con aceras de 1.5m. La distancia libre desde el río tiene un promedio de 5m. La fecha de construcción de dicho puentes se estima en los años 50's, pero se desconoce la fecha exacta.



**Figura 4. Vista aérea del puente sobre Río Purires (fuente Google Earth)**

En cuanto al tránsito que circula por dicho puente, esta es una ruta por la cual transitan una cantidad importante de camiones de carga.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES										
PLANIFICACION SECTORIAL										
UNIDAD LOGISTICA										
TRANSITO PROMEDIO DIARIO Y % DE VEHICULOS										
ESTACION N°: 166		RUTA: 2								
TRAMO: LA LIMA - SAN ISIDRO DEL GUARCO										
UBICACION: ENTRADA A SAN ISIDRO, RIO PURIRES										
SECCION: 30102										
AÑO	T.P.D.	LIVIANOS		PESADOS					TOTAL	
		PASAJ.	C. LIV.	BUSES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	LIV.	PES.
1987	2805	28.75	40.42	13.09	12.76	2.09	0.14	2.75	69.17	30.83
1988	2885	31.56	37.53	12.40	12.44	2.08		3.99	69.09	30.91
1989	2915	32.24	37.03	12.31	12.71	1.33	0.04	4.34	69.27	30.73
1990	3215	39.97	36.91	9.56	8.68	1.37	0.03	3.48	76.88	23.12
1991	2930	34.03	35.29	12.34	12.61	1.21		4.52		
1992		35.04	35.43	12.46	10.48	1.63	0.03	4.93	70.47	29.53
1993	3805									
1994	4590	39.57	33.70	8.85	11.07	2.34	0.06	4.41	73.27	26.73
1995	5050	42.73	30.20	9.73	11.82	1.41		4.11	72.93	27.07
1999	6925	45.45	31.28	8.23	9.19	1.96		3.89	76.73	23.27
2006	11422	59.52	21.96	2.61	9.11	2.17		4.63	81.48	18.52
2009	11318	53.9	24.17	6.05	8.75	2.93		4.2	78.07	21.93

Tabla 6. Características tránsito que circula por el puente (Fuente MOPT)



Figura 5. Fotografía del puente piloto, puente "Purires"





**Figura 6. Fotografía lateral del puente piloto, puente “Purires”**

La inspección visual, aunque es un método muy sencillo y fácil de realizar, también tiene algunas limitaciones, que pueden significar un vacío de información, puesto que en muchos casos no se prevé que debido a la configuración del puente o bien de la geografía del lugar, se encuentren sitios inaccesibles, y se tiene que utilizar medios o equipos especializados como escaleras, plataformas de andamiaje, botes, brazos mecánicos, entre otros, y en la mayoría de los casos no se cuenta con la disponibilidad de los mismos.

Otra de las limitaciones que se puede presentar es el desconocimiento, o falta de información de algunos elementos adheridos al puente como servicios públicos que pasan por él, muchas veces, la mayoría de las instituciones como municipalidades no tienen el conocimiento de los mismos, lo cual dificulta su identificación ya que en diversas ocasiones no se puede observar a simple vista.

Por otra parte la metodología de inspección supone un cierto conocimiento o expertiz en el área de ingeniería de puentes, por lo que las evaluaciones pueden ser subjetivas y varían de profesional en profesional. Sumado a esto, para este caso en especial del Puente sobre el Río Purires no se contaba con el juego de planos del mismo, posiblemente por lo antiguo de su construcción,. Ello provocó un clima de incertidumbre respecto a lo que se encontraba en campo. Esta situación es típica para la mayoría de estructuras existentes en el país.

Un sistema de inspección tiene que ser lo suficientemente organizado y con puntos claros por evaluar, puesto que deben detectar los problemas más críticos, que pueden volver la estructura inestable o peligrosa. Del mismo modo, debe ser sencilla y rápida, es decir, tiene que ser un procedimiento que debe durar alrededor de un día, esto claro dependiendo del tipo de la estructura analizada.

Es por esto que como lo explica el MOPT, “la inspección es un conjunto de actuaciones técnicas, realizadas según un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de un puente.”

Es importante explicar que en el proceso de inspección se tiene que considerar todos los elementos de la súper y subestructura del puente, además de la losa de aproximación y los accesorios que están sujetos al puente. Algunos de estos elementos son (MOPT, 2007):

#### **Accesorios**

- Superficie de Rodamiento
- Barandas
- Juntas
- Tuberías de Servicios
- Sistema de Drenaje
- Señalización

#### **Superestructuras**

- Vigas Principales y Secundarias
- Losa

#### **Subestructura**

- Apoyos
- Bastiones

En una inspección en sitio, se tiene que detallar lo más posible la estructura en estudio, por lo que se tiene que documentar las dimensiones de todos los elementos; así como la distancia de la parte inferior del puente al espejo de agua. También es importante anotar ubicación exacta y detallada, clasificación del puente, el tipo de ruta y la fecha de la realización de la inspección.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta, es el material del cual están hechos los diferentes componentes principales del puente, esto va a depender el tipo de mantenimiento o tratamiento que se debe emplear, en caso de requerirlo en un futuro.

Una buena práctica para una inspección es generar un registro fotográfico, el cual sirva para plasmar los aspectos más relevantes, los elementos con mayores daños, los que caractericen el puente y su configuración tanto estética como estructural. Asimismo es importante ilustrar el tipo de cauce, para poder establecer si existe algún obstáculo potencial, el cual ante una crecida pudiera ser arrastrado y causar un daño al puente.

#### **Factor Humano**

Con respecto a los medios humanos para realizar una inspección, solo se requiere de un pequeño equipo de trabajo, éste va a ser el responsable de recopilar toda la información denotada, es decir, va a el encargado de identificar y evaluar el estado del puente, establecer los requerimientos posteriores en caso de tener que realizar una reparación (o en su defecto remitir el caso a un especialista).

Los inspectores, deberán tener conocimiento técnico suficiente sobre el tema de puentes; deberán estar al tanto sobre los componentes, funcionamiento, configuración, comportamiento, métodos de construcción, resistencia de materiales, entre otros.

Además entre sus actividades están planificar y organizar las inspecciones para que estas sean lo más eficientes y ordenadas posible, siguiendo una secuencia clara de las tareas y procedimientos que deberán realizar el día de la inspección completa.

Del mismo modo deberán elaborar todos los informes posteriores a la inspección o bien si cuentan con un formulario de inspección, como en el caso de nuestro país donde se utiliza el Manual de Inspección antes mencionado que brinda el MOPT; deben llenarlo en su totalidad o bien se debe tratar de que este quede lo más completo posible, puesto que una de las mayores limitaciones es la falta de documentación cuando se habla de infraestructura pública.

### Equipo

El equipo en una inspección visual es relativamente sencillo, ya que por ser una actividad simple no se debe llevar instrumentos pesados o bien de un tamaño considerable, los cuales pueden entorpecer la inspección. Sin embargo, es importante llevar una serie de utensilios los cuales son vitales para que se realice una inspección precisa y sobretodo que sea eficiente.

El inspector tiene que tener claro cada una de las herramientas que va a llevar, para que estas ayuden para a poder realizar su trabajo de la forma idónea. Algunos artículos que recomienda el Manual de Inspección de Puentes (MOPT) son los siguientes (MOPT, 2007):

- Utensilios de Limpieza (Escoba, cepillo de acero, espátulas, desatornillador, pala).
- Utensilios para la inspección general (Cuchilla, Cincel, Calador, Plomada, entre otros)
- Utensilios de Inspección Visual (Binoculares, Foco, Lupa, entre otros)
- Utensilios de Medición (Cinta Métrica, Vernier, Nivel, Termómetro, entre otros)
- Utensilios de Documentación (Cuaderno de campo, Regla, Formularios de inspección)

Un equipo que el inspector no puede dejar a un lado, es el equipo de seguridad, ya que este no se puede exponer en ningún momento a algún peligro mayor. Puesto que en algunos casos el acceso a algunos lugares es sumamente difícil y por consiguiente, si no se cuenta con el equipo adecuado y con el suficiente cuidado por parte del inspector, se puede provocar un accidente. Algunos de los equipos de seguridad que se deben llevar al campo son: casco, chaleco de seguridad reflectivo, gafas de seguridad, guantes, mascarilla, y en caso de tener que realizar trabajos en alturas: el arnés.

De este proceso se logró obtener dos resultados concretos, los cuales son: informe de inspección visual<sup>9</sup> (hojas de inventario del MOPT) y la elaboración de los planos. Aparte, se dieron otros implícitos o intangibles como por ejemplo la familiarización y conocimiento con la estructura del puente de forma general y específica para este caso.

Para este puente en particular, como se ha mencionado se manejaron ciertas restricciones que impidieron la idónea realización de la inspección, sin embargo, se logró obtener información valiosa que sirvió como base para aplicar las pruebas siguientes (ultrasonido a vigas y losa,

---

<sup>9</sup> Ver anexo 4, formularios de inventario e inspección para el Puente sobre el río Purires.

extracción de núcleos). Además se dejó un panorama bastante claro de lo que es el puente y su estado de destrucción para enfatizar en los elementos más dañados y que ponen en riesgo la vida útil de la infraestructura.

En él se caracterizan (no detallan específicamente) estas afectaciones, entre las más relevantes están: la oxidación y corrosión que llevan a una pérdida de sección importante a las vigas continuas de acero; grietas, descascaramiento, socavación en los bastiones y pilas que en muchas ocasiones dejan a la luz el refuerzo de acero expuesto a la interperie; inclinaciones, desplazamientos y deformación en los apoyos, que dejan al descubierto por completo el mal estado del puente. Así mismo grietas, juntas de expansión obstruidas, refuerzo expuesto en la losa ponen en riesgo la seguridad de usuarios y aceleran el deterioro. Excesivos recarpeteos junto con bacheo y ondulaciones del pavimento incrementan el peso de la estructura, así la vuelven más vulnerable ante un sismo.



**Figura 7. Fotografía de apoyo intermedio del puente piloto, puente “Purires”, con problemas de desplazamiento**

### **Elaboración de Planos<sup>10</sup>**

Esta actividad se realizó debido a (como se mencionó antes) que no existía ningún tipo de planos del puente. No se contaba con las disposiciones del mismo y sus elementos, conexiones, medidas de ambos, ubicación, información geográfica, así como características especiales y otros.

Para su realización fue de gran ayuda y sin duda, pilar de la actividad, las visitas a campo junto con el informe de inspección visual elaborados por el equipo de eBridge. Debido a la edad del puente así como el grado de deterioro presente en los elementos de este, no se sabe con total seguridad el diseño inicial del puente; pero con la experiencia de profesionales del área se cree que el resultado obtenido es bastante acertado al de un inicio.

Esta etapa desarrollada simultánea con la inspección, permitió definir dimensiones tanto de la subestructura como superestructura, distribución de los elementos y sus características físicas básicas, las conexiones con su ubicación y detalle, y los posibles servicios que transitan por el puente. Es de suma importancia, para el equipo de la parte de construcción contar con los planos

---

<sup>10</sup> Ver anexo 5, planos realizados para el puente sobre el río Purires.

arquitectónicos de la obra, para lograr homogenizar la estructura y así lograr realizar un buen análisis de la estructura, determinar sus capacidades de diseño y lograr comparar que es lo que experimenta el puente en la actualidad. En ello, los planos aportan gran información que de no poseerse ordenada y definida en ellos acerca de la estructura, se podría llegar a conclusiones que pueden diferir unas de otras, por simples incongruencia de medidas.

De igual manera, con la confección de los planos se tiene una mejor disposición para etapas futuras del proyecto y son de gran ayuda para profesionales investigadores de otras disciplinas del proyecto.

### **Uso de pruebas destructivas y no destructivas en la caracterización del puente**

El estudio para la determinación de un prototipo de modelo de confiabilidad estructural, incluye el análisis de un puente piloto, que en este caso particular es un puente de vigas continuas de acero de sección W, con una losa de concreto.

Esto implica que las pruebas por realizar se enfoquen en caracterizar ambos materiales, además es importante mantener presente la fecha de construcción que es a inicios de los años 60.

Aunque para la mayoría de los puentes de acero, uno de los elementos típicos por verificar es la soldadura, en nuestro caso, este punto no es relevante pues las uniones de los elementos de acero son pernadas, es ello se requiere verificar la existencia de pernos y su estado así como enfocarse en determinar presencia de corrosión.



**Figura 8. Fotografías de uniones típicas entre vigas**

La selección del sistema de evaluación apropiado depende de la aplicación que se requiere, la accesibilidad y los requerimientos de la normativa o códigos existentes. No existe una norma sobre cuando aplicar un método destructivo o no destructivo, sin embargo, es importante recalcar que los ensayos no destructivos permiten el análisis de las características del material sin afectar su integridad, pero estos ensayos requieren de mayor expertiz y de una adecuada calibración de los equipos y su interpretación.

### **Metodología de evaluación utilizada**

El puente piloto seleccionado es un puente vehicular, su distancia máxima entre apoyos es de 15m, se clasifica como un puente corto y su configuración estructural es de viga continua. La super estructura se compone de 5 vigas principales de acero W27X94 y posee vigas secundarias tipo W16X40 y C12X20.

De acuerdo con los resultados de la inspección visual, el puente presenta desde el punto de vista de materiales un deterioro importante por corrosión en las vigas principales cerca de los apoyos. En cuanto al concreto se observa desprendimiento, también en los puntos cercanos a los apoyos.



Figura 9. Fotografía del deterioro por corrosión cercano a los apoyos

Considerando lo anterior se seleccionaron 2 pruebas no destructivas y una prueba destructiva con el fin de determinar lo siguiente:

- Ubicación del acero de refuerzo en la losa (NDT)
- Espesor del alma de las vigas principales W27X94 (NDT)
- Resistencia del concreto de losa, pilas y bastiones (DT)
- **Ubicación del acero de refuerzo en la losa<sup>11</sup> (NDT)**

Para ubicar el acero existente en la losa y su separación, se hizo uso de un “bartracker”.



---

<sup>11</sup> Estas pruebas se realizaron con equipo de  
*Informe final de investigación*

**Figura 10. Equipo utilizado: Controls 58-E6102 Bartracker**

El equipo se encuentra de acuerdo con los siguientes estándares: ACI 318, DIN 1045, BS 1881:204, EC2, CP110 y SIA 162.

El principio físico que utiliza este equipo es el magnetismo, lo que se genera es una bobina que envía una señal electromagnética y la misma es devuelta en el momento que se encuentra un elemento metálico.

Para la identificación de acero se tomaron 17 muestras bajo la losa para determinar el refuerzo longitudinal y 54 para determinar el refuerzo transversal.

Los resultados de esta pruebas se muestran a continuación:

Acero longitudinal		Acero transversal	
Número de muestras	17	Número de muestras	54
Profundidad acero		Profundidad acero	
Prof. Máxima	41	Prof. Máxima	32
Prof. Mínima	27	Prof. Mínima	21
Prof. Promedio	33.94	Prof. Promedio	26.56
Desviación estándar	3.526	Desviación estándar	2.759

**Tabla 7. Resultados de la determinación de acero longitudinal y transversal en la losa**

- **Espesor del alma de las vigas principales W27X94<sup>12</sup> (NDT)**

Para determinar el espesor del alma de las vigas principales, se hizo uso de la técnica no destructiva denominada ultrasonido, este se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material. El equipo utilizado para estas pruebas fue el DMS-2 de la marca Krautkramer.



**Figura 11. Equipo utilizado: Krautkramer DMS-2**

Se tomaron 82 muestras en diversas partes del alma de la viga, principalmente cerca de los apoyos ya que son las partes que presentaban mayor grado de deterioro. En el anexo 3 se adjuntan todas las muestras tomadas.

Los resultados de esta prueba fueron:

Espesor del alma de la viga		
0 - 3 m del apoyo	12.39	mm
3 - 8 m	12.16	mm

**Tabla 8. Resultados de la determinación del espesor del alma de la viga**

De acuerdo con la teoría una viga de acero W24X94, debería tener un alma de 0.49 pulg (12,44 mm), por lo tanto la diferencia en este caso representa un 0,40%, sin embargo es necesario indicar que en dos de las vigas se presenta un alto grado de corrosión el cual ha significado la pérdida del acero total, dejando traspasar la luz.

<sup>12</sup> Estas pruebas se realizaron con equipo disponible en la Escuela de Ingeniería y Ciencia de los materiales y con colaboración del Ing. Mario Conejo.



- **Resistencia del concreto de losa, pilas y bastiones<sup>13</sup> (DT)**

Para determinar la resistencia del concreto presente en la losa se recurrió a la realización de una prueba destructiva, para ello se extrajeron núcleos de concreto de 20cm de diámetro y se procedió a su análisis según la norma ASTM C 42/C 42M-04 (Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete). Para ello se extrajeron 2 núcleos en los bastiones, 2 núcleos en las pilas y 3 núcleos en la losa.



**Figura 12. Ejemplo de uno de los núcleos extraídos en el bastión del puente piloto**

En resumen se obtuvo un promedio de 300 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia de bastiones, 175 kg/cm<sup>2</sup> en las pilas y 300 kg/cm<sup>2</sup> en la losa.

### **Capacidad estructural del puente piloto<sup>14</sup>**

Como parte de la caracterización del puente piloto se determinó la capacidad nominal de los elementos de la estructura para revisar si cumple los requerimientos de carga propuestos. Se consideran las disposiciones de la metodología AASTHO, LRFD para el diseño estructural, para la determinación de las capacidades nominales requeridas. Asimismo, se crea el modelo estructural empleando el programa SAP2000, para la simulación de la estructura; manejando distintos casos de carga para el puente.

Es importante resaltar que de la inspección visual, se determinaron daños en la estructura, a saber:

- Sobrecapas de asfalto, aumentando la carga muerta de la estructura alrededor de los 1,84 ton/m<sup>2</sup>.

---

<sup>13</sup> Estas pruebas fueron realizadas por el CIVCO, con la participación del técnico Eduardo Arce y el estudiante Osvaldo Cubero.

<sup>14</sup> Este análisis se hizo con la ayuda de un proyecto de Taller de Diseño de los estudiantes Osvaldo Cubero, Pablo Tames y Adriana Vega, de la carrera de Ingeniería en Construcción.

- Faltante de barandas en ciertas zonas.
- Juntas de Expansión obstruidas por la carpeta asfáltica, provocando que el puente no logre moverse ante un evento sísmico.
- Las vigas principales cuentan con altos grados de corrosión cerca de sus apoyos en los bastiones, y pérdida de espesor en el patín y alma de las vigas.
- Los apoyos que se encuentran en las pilas cuentan con desplazamientos y rotaciones importantes. Las cuales restan funcionalidad a estos.

Las características de los materiales utilizadas fueron las obtenidas en los ensayos destructivos y no destructivos y la información recomendada por la AASHTO.

### Parámetros de diseño utilizados

La metodología utilizada en esta investigación fueron las normas AASTHO, actualmente vigentes, debido a que Costa Rica no cuenta con un código de Puentes y el código sísmico solo rige para edificaciones y vivienda. en ella se utilizaron las combinaciones establecidas en estas normas.

Las cargas vivas establecidas por la AASTHO y utilizadas en la investigación corresponden a:

- **Sobrecarga vehicular:** Este tipo de sobrecarga, como lo explica el AASHTO, designada por HL-93, consiste en la combinación del camión de diseño y la sobrecarga vehicular.
- **Camión de Diseño:** Sus ejes traseros varían entre los 4,3 a 9 m, cuyas cargas en estos corresponde a 14. 785 ton y de 3.569 en sus ejes delanteros.
- **Tandem de Diseño:** Consiste en un par de ejes con una separación de 1.2m, con una carga de 11.213 Ton.
- **Carga de Carril:** Consiste en una carga distribuida uniforme de 310 kg/m<sup>2</sup>, representa un flujo vehicular constante sobre el puente.
- **Carga Peatonal:** Se le aplico una carga de 367,1 kg/m<sup>2</sup>, representa el paso de personas sobre el puente.
- **Carga Frenado:** Se determino que la carga de frenado máxima correspondía al 25% del peso por eje ya sea del camión de diseño o tandem.

Concerniente al coeficiente sísmico, se utilizo el CSCR 2010, del cual se supuso una cimentación S3 y una zona sísmica zona III, la cual corresponde al de dicho lugar, esto con el fin de determinar  $F_{sis} = 2.207 \text{ FED} * m$ , en donde la masa es determinada por el programa, haciendo una análisis espectral dinámico.

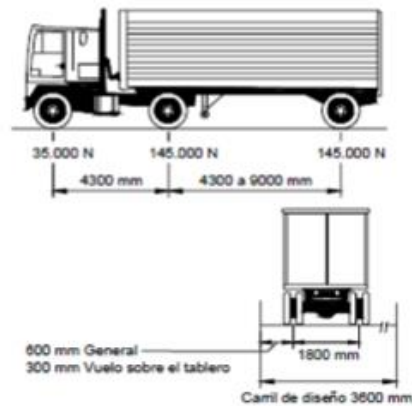


Figura 13. Camión de diseño especificado por la AASHTO (AASHTO, 2010)

### Condiciones de carga

Las condiciones de carga fueron establecidas mediante fundamentos de la ingeniería estructural, cabe mencionar que nuestra investigación solo abarca un análisis estático de las cargas sobre el puente, pero pretende tomar los puntos más importantes y críticos a los cuales la estructura se pueda ver sometida. Para la ubicación de las condiciones de carga se tomo como base aquellas en donde se provoquen mayores fuerzas en cortante, momento, deflexión y torsión.

Se consideraron 15 consideraciones de carga, las cuales juntos con las cargas vivas mencionadas anteriormente se modelaron en SAP 2000 el programa de análisis estructural utilizado.

Con ello se determino que las condiciones más críticas, o sea las que provocaron mayores sollicitaciones sobre la estructura fueron:



Figura 14. Configuración de carga 4 (fuente propia)



Figura 15. Configuración de carga 6 - Crítica para sismo (fuente propia)

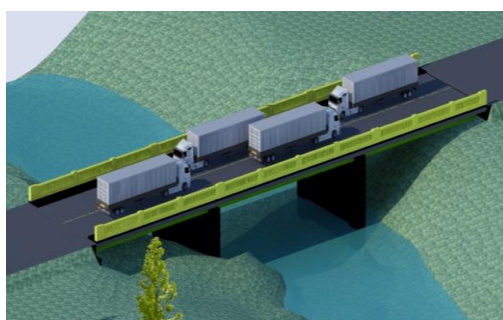


Figura 16. Configuración de carga 10 - Crítica para deflexiones (fuente propia)

### Modelo Estructural<sup>15</sup>

Se empleo SAP2000 para analizar el comportamiento estructural según las cargas asignadas de la cuales se encuentra: el peso permanente de los elementos, carga de asfalto, carga peatonal, carga de frenado, carga de carril, y las 15 consideraciones de carga ya sea de camión de diseño o tandem o la combinación de las dos.

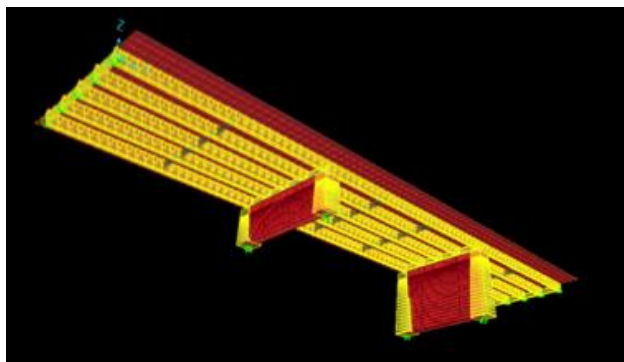


Figura 17. Modelo estructural en 3D, planta inferior (elaborado con SAP 2000)

---

<sup>15</sup> Para más detalles sobre el modelo estructural en SAP 2000, puede visitar el laboratorio de monitoreo de estructuras en el CIVCO.



Figura 18. Configuración de carga 6, colocación de cargas sobre los shell (elaborado con SAP 2000)

Para el análisis de las capacidades de los elementos, se recurre a la metodología LFRD, e donde se toma en cuenta flexión, cortante deflexiones, flexocompresión y flexotensión, esto para las vigas principales. Para conexiones se revisa la tensión y capacidad de los pernos y en la losa se revisa la flexión y cortante.

## Resultados

### Vigas principales

Se obtuvieron las capacidades de la viga Principal W27X94, en cortante, momento, tensión y compresión. Según las normas de la AASTHO.

$\emptyset Pnt$	399741.81	kg
$\emptyset Pnc$	184041.15	kg
$\emptyset Vn$	97132.25	kg
$\emptyset Mn$	103991.73	kg-m

Tabla 9. Capacidades nominales de la viga principal

Una vez que se cuenta con la capacidad de los elementos, se procede a comparar los datos suministrados por SAP2000, del cual se determina que la combinación crítica es Resistencia I, dicha combinación provoca los mayores esfuerzos sobre la estructura.

Axial, cortante y Momentos Maximos por ejes. Combinación Resistencia I								
Ejes	P Kgf	P Kgf	V Kgf	V/ Vn	M Kgf-m	M/ Mn	Ri Flexotensión	Ri Flexocompresión
B	97594.21	-172498.7	38936.5	0.40	51421.1	0.49	0.73	0.92
C	91103.45	-174326.8	43329.8	0.45	57106.8	0.55	0.72	0.99
D	102465.4	-165720.1	40309.9	0.42	55861.1	0.54	0.79	0.95
E	175484.48	-175484.5	41332.4	0.43	58681.9	0.56	0.9	1
F	114570.66	-171391.5	38701.3	0.40	55018.8	0.53	0.86	0.96

Tabla 10. Valores de iteración para la combinación Resistencia I

La subestructura del puente es sometida a fuerzas máximas cuando se da los fenómenos de flexotensión y flexocompresión, el cortante y momento no alcanzan ni el 50% de su capacidad en uso, sin embargo la flexocompresión rige y esta se da cerca de los apoyos.

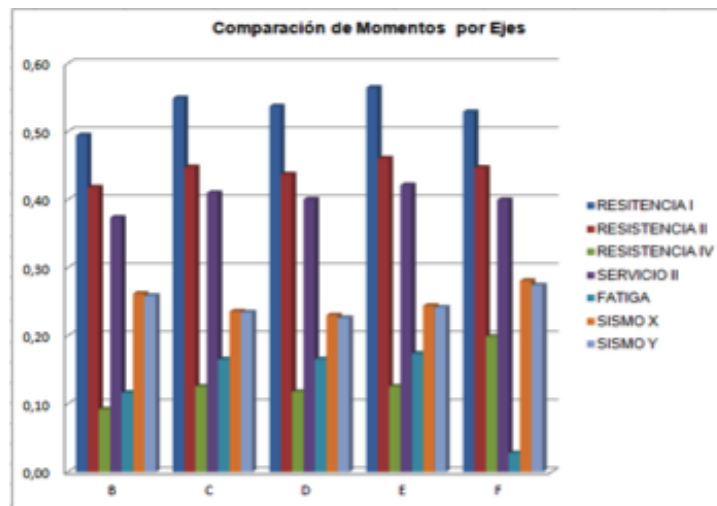


Figura 19. Comparación de momentos por combinación en cada eje

La flexotensión ocurre en los tramo centrales de cada tramo y alcanzan entre el 80% de su capacidad máxima, en la combinación crítica (Resistencia I).

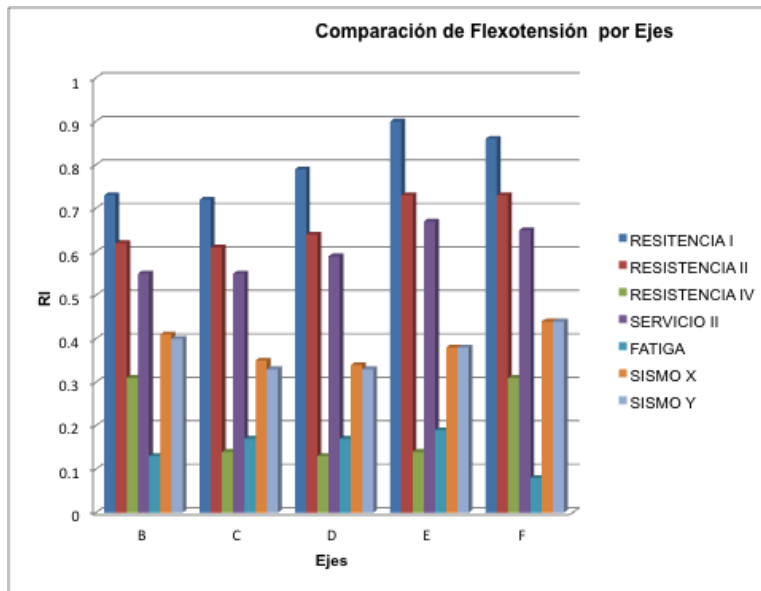


Figura 20. Comparación de flexotensión por combinación en cada eje

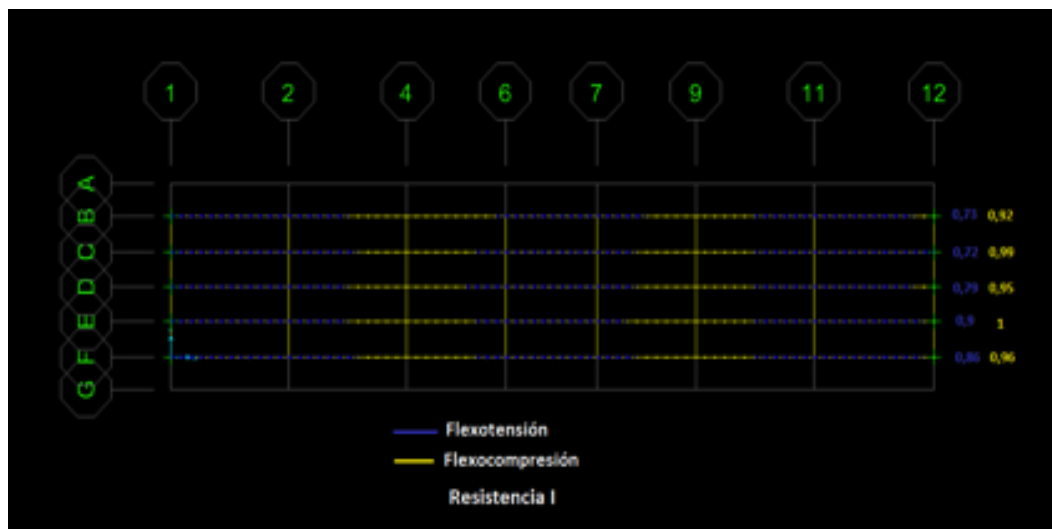


Figura 21. Mapeo de zonas de flexotensión y flexocompresión, combinación Resistencia I (elaborado con SAP 2000)

## Deformaciones

	Deformación máxima por tramos				
	Tramo	cm	RI	Condicion de Carga	Joint
Combinación Resistencia I	LATERAL	1.223	0.8	Caso 4	1687
	CENTRAL	1.443	0.77	Caso 10	1998
Combinación Resistencia II	LATERAL	1.005	0.66	Caso 4	1687
	CENTRAL	1.171	0.63	Caso 10	1998
Combinación Resistencia IV	LATERAL	0.431	0.28	-	1731
	CENTRAL	0.44	0.24	-	2016
Combinación Servicio II	LATERAL	0.914	0.6	Caso 4	1687
	CENTRAL	1.077	0.58	Caso 10	1998
Combinación Fatiga	LATERAL	0.362	0.24	Caso 4	1643
	CENTRAL	0.436	0.23	Caso 10	1998
Combinación Evento Extremo X	LATERAL	0.625	0.41	Caso 9	1732
	CENTRAL	0.706	0.38	Caso 10	1980
Combinación Evento Extremo Y	LATERAL	0.608	0.4	Caso 9	1732
	CENTRAL	0.673	0.36	Caso 10	1980

Tabla 11. Resumen de deformación por combinación y tramo

Las deformaciones no alcanzan a las deformaciones permisibles en donde al tramo central cuenta con una deformación permisible de 1.865 cm y en el tramo lateral de 1.525 cm.

## Vigas diafragma

Respecto a las vigas Diafragma y al análisis efectuado se pudo comprobar que estas solo rigidizan la estructura y no toman fuerzas importantes, su función no es la de transferir fuerzas altas.

Para momento y flexotensión es donde ocurren los valores máximos, sin embargo estas no alcanzan las permisibles dejando en muchos casos rangos de holgura de 60%.

## Conexiones

Capacidad Nominal	
Tipo Conexión	$\phi R_n$ (kg)
Placa Inferior CN-1	124501,06
Placa Frontal CN-1	62462,4239
Placa AP-4/AP-5	342328,33
Angular VP-VS	73529,83
Angular CN-1	222690,34

Tabla 12. Capacidades nominales de los tipos de conexiones



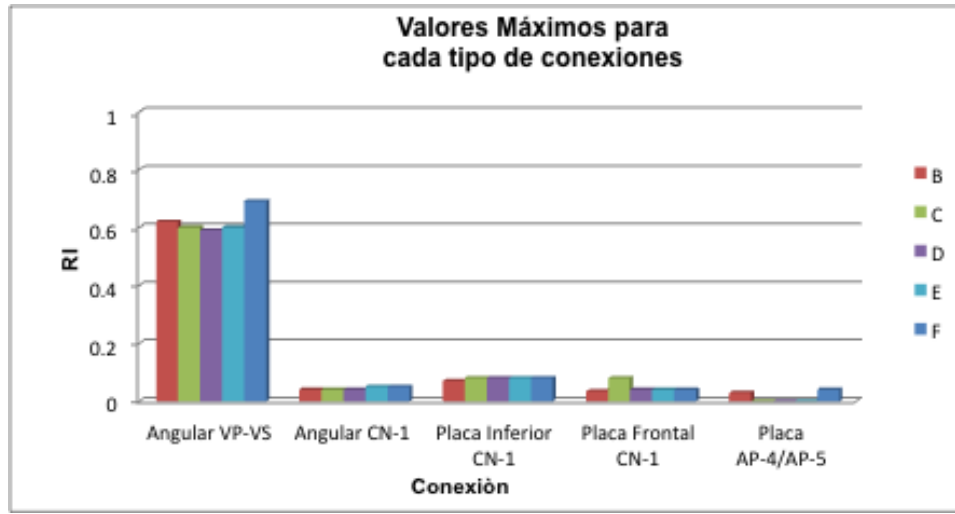


Figura 22. Relaciones máximas para cada conexión

## Losa

Como anteriormente se menciona la losa se reviso por cortante y momento, con el supuesto de las pruebas realizadas en la estructura.

El acero en la losa cumple con el mínimo que dictan las especificaciones, obteniendo las capacidades a cortante y momento, como muestra la tabla 13.

Capacidad de la Losa	
$\Phi V_c$	$\Phi M_n$
kgf	kgf-m
51948,42	9985,27

Tabla 13. Capacidades nominales de la losa

Como parte de los resultados obtenidos, se determina un mapeo de esfuerzos presentes sobre el tablero del puente, como muestra la grafica 12, los valores máximos de cortante se dan en los apoyos, sin embargo solo se utiliza un 20% de su capacidad, en donde el concreto toma dichas fuerzas.

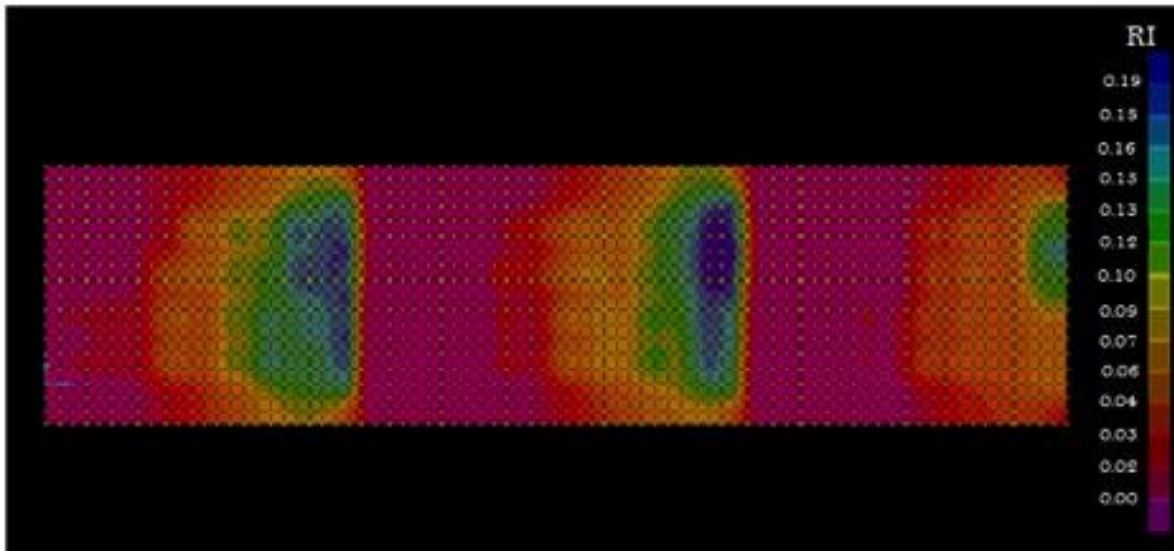


Figura 23. Relaciones de interacción para cortante en la losa, Resistencia I

Como conclusiones a este modelaje estructural teórico, se tienen:

- La configuración más crítica, se presenta cuando el puente está con su máxima capacidad en ambos carriles, soportando en este caso tándem y caminos de diseño (de 4.3 m entre los ejes traseros) alternados (Caso de Carga 4).
- Las vigas principales, vigas secundarias y conexiones, en ningún momento alcanzan sus capacidades máxima nominal.
- La estructura del puente soporta un sismo en la dirección X o Y, lo que significa que su configuración estructural y componentes reparten de buena manera las acciones sísmicas.
- La combinación Resistencia I es la que mayor incidencia tiene sobre el puente.
- La flexocompresión es el fenómeno más importante sobre la estructura, y está concentrada principalmente en las zonas de los apoyos.
- Todas las conexiones tienen holgada capacidad.
- La losa de concreto con el acero supuesto para este proyecto, resiste los momentos más críticos.
- Es este momento el puente no es seguro porque a pesar de estar sobrediseñado, posee graves deterioros como la inclinación de apoyos y la corrosión de las vigas en los apoyos. Además de presentar grandes vibraciones.

## Inventario de puentes cercanos al puente piloto<sup>16</sup>

Debido a que no se contaba con un inventario de puentes y con el fin de analizar la metodología de inspección visual, durante el primer semestre 2012 se colaboró con Municipalidad del Guarco, en la realización de un inventario e inspección visual de 15 estructuras de puente en el distrito de Tobosi, lo anterior a través de un proyecto de graduación del estudiante Ignacio Jiménez Brenes, para optar por el grado de Ingeniero en construcción, grado académico de Licenciatura.

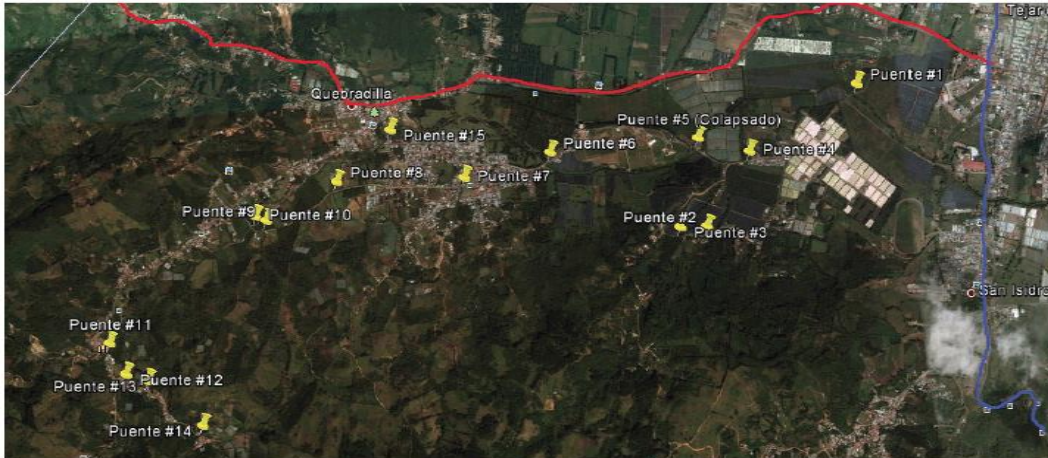


Figura 24. Ubicación de puentes inspeccionados en el distrito de Tobosi del Guarco (fuente Google Earth)

En resumen de dicho proyecto, se obtuvo lo siguiente:

De las 15 estructuras, el 29% se cataloga como alcantarilla, el 26% presentan sobrecapa de asfalto y el 36% cuentan con una superestructura tipo losa.

En cuanto a daños, el 66% presenta problemas en el pavimento, un 80% presenta daños en las barandas ya sean estas de acero o concreto.

Las losas en su mayoría presentan problemas, entre los que se encuentran: grietas, descascaramiento, nidos de piedra, efluencia.

Por otra parte la mayoría de aletones y bastiones, también presenta problemas. y finalmente el 72% de las estructuras tiene algún problema de socavación.

<sup>16</sup> El documento completo puede revisarlo en el proyecto de graduación: "Inspección de 15 estructuras de puentes en el distrito de Tobosi del Guarco", elaborado por el estudiante Ignacio Jiménez.

## **1.3. Propuesta de clasificación de puentes**

En ingeniería de puentes no existe una única clasificación para este tipo de estructuras. Sin embargo, existen diferentes criterios mediante los cuales se puede clasificar los puentes, estos pueden ser seleccionados de acuerdo al material (concreto, acero, o madera), uso (peatonal, vehicular, vía férrea), extensión (corta, intermedia, larga, extra larga) o por su determinada configuración estructural. A continuación se presenta la clasificación que se propone dentro del marco de este proyecto. (Barker, 1997).

### **Criterio 1. Uso del puente**

#### **1.1. Peatonal**

Son utilizados para poder realizar el cruce caminando en avenidas de altas velocidades, rutas rápidas y de gran densidad de tráfico o autopistas.

#### **1.2. Vehicular**

Permiten la circulación de vehículos, y salvan distintos obstáculos como ríos, bañados y otras vías de comunicación en ciudades.

#### **1.3. Vía férrea**

Permiten la circulación de trenes, como los anteriores salvan obstáculos diversos como ríos, acantilados y depresiones.

### **Criterio 2. Distancia entre apoyos**

#### **2.1. Corta (hasta 15 metros)**

Dentro de esta categoría involucra diferentes tipos de estructura tales como: alcantarillas simples o multiceldas, puentes de losa, puentes de viga T, de vigas de madera, de vigas de concreto prefabricado (vigas cajón, vigas I), y vigas compuestas de acero laminado.

#### **2.2. Intermedia (15 a 50 metros)**

Dentro de estas estructuras se incluyen: puentes de vigas de concreto prefabricado (vigas cajón, vigas I), de vigas compuestas de acero laminado, de vigas compuestas de placas de acero, de vigas cajón de concreto colado en sitio y de vigas cajón en acero.

#### **2.3. Larga (50 a 150 metros)**

Se pueden mencionar estructuras tales como: puentes de vigas compuestas de placas de acero, de vigas cajón de concreto pos tensado en sitio, de arcos de concreto, de arcos de acero y de armaduras de acero.

#### 2.4. Extra larga (más de 150 metros)

Dos tipos de puentes muy eficientes en esta categoría son: los atirantados y en suspensión, los cuales debido a sus características generales son económicos en material, peso y costo.

### Criterio 3. Configuración estructural de la superestructura

#### 3.1. Losa

Este tipo de configuración estructural, al no tener vigas sus cargas deben ser llevadas por flexión en la dirección longitudinal. Son usados especialmente para luces menores a los 7 metros en puentes carreteros y 5 metros tratándose de puentes ferroviarios, pudiendo llegarse a luces de 12 metros con hormigón armado y hasta los 35 metros con losas de hormigón preesforzado, y son de una gran ayuda espacialmente cuando se están reutilizando antiguos estribos. Se pueden clasificar en losas simples (figura 1), las cuales consisten en tramos individuales apoyados en uno o más pilares y las losas continuas que se apoyan en tres o más pilares sin que formen una sola sección con estos donde el espesor puede ser uniforme o variable, siendo este ultimo lineal o parabólico.

Estos puentes requieren por lo general más acero y más concreto que otros puentes, pero su encofrado es mucho más sencillo, siendo algunas veces mayor la economía representada por la facilidad de ejecución del encofrado que el costo de la mayor cantidad de material.

Por su parte en cuanto a los tipos de apoyos estos pueden ser: fijos o móviles, dependiendo de las cargas o condiciones sísmicas que así lo requieran. En la figura 1 se muestra la estructura con sus componentes básicos, se debe tener presente que esta puede variar en cuanto a dimensiones, materiales y sistema arquitectónico.

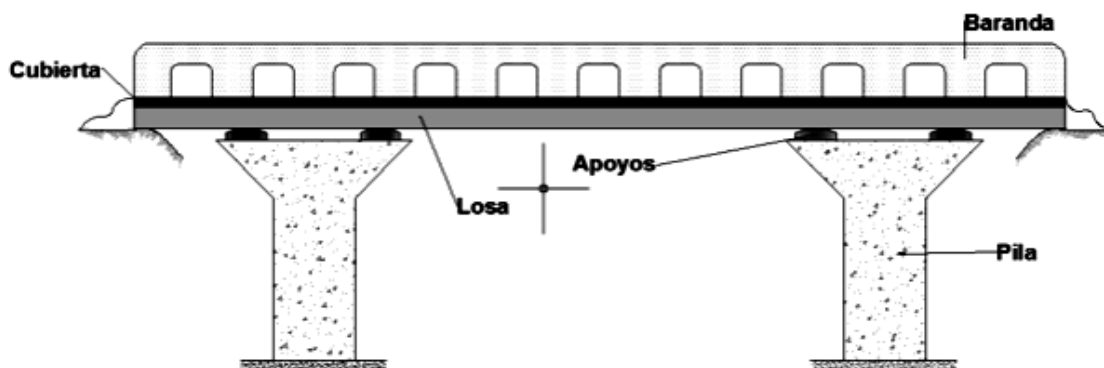


Figura 25. Ejemplo de puente de losa apoyada en pilas de concreto. (Editado en AutoCAD)

### 3.2. Vigas simples

Son puentes para salvar luces cortas que en su forma más elemental son vigas simplemente apoyadas y con una cubierta superior, que puede ser de concreto, madera o acero. Además sus secciones transversales pueden variar desde vigas-T, vigas-I, hasta vigas W. De igual manera, la logística de construcción es muy variable ya que depende de las condiciones físicas y económicas del proyecto, estas pueden ser por ejemplo; en concreto pretensado o postensado, vigas cajón, colado en sitio, entre otras. Ese tipo de puentes usualmente transmiten sus cargas en cortante y flexión.

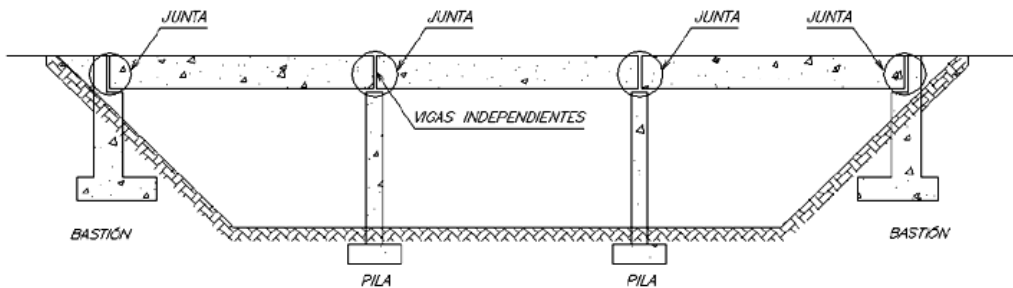


Figura 26. Ejemplo de puente con superestructura de viga simple. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)

### 3.3. Vigas continuas

Consisten en varios elementos, que, colocados paralelamente unos a otros con separaciones “s” entre ellas, salvan la distancia entre estribos o pilas y soportan el tablero. Cuando son ferroviarios, disponen de vigas de madera o acero y sus pisos pueden ser abiertos o estar cubiertos con placas de hormigón armado.

Los puentes en viga continua son estructuras hiperestáticas, que permiten reducir considerablemente la flexión de cálculo, debido al cambio de signo de estos esfuerzos en los apoyos y en el centro del vano. A diferencia de una viga simplemente apoyada, estas como su nombre lo indica descansan sobre diferentes apoyos o se componen de apoyos intermedios.

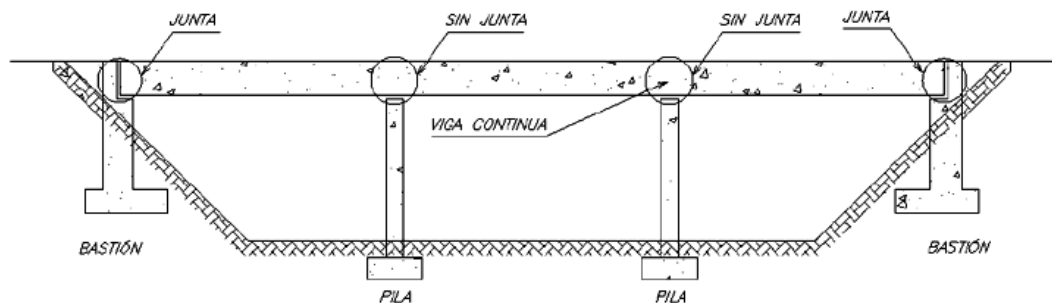


Figura 27. Ejemplo de puente con superestructura de viga continua. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)

### 3.4. Atirantado

Es casi la única alternativa para luces mayores a 600 metros y es considerado competitivo en luces inferiores a los 300 metros. El uso de cables de alta resistencia en tensión conduce a una economía en material, peso y costo. Los cables se anclan a la cubierta generando fuerzas de compresión en la misma. Dichos cables permiten una adecuada erección de las vigas que componen la superestructura. Además a diferencia de los puentes colgantes o suspensión, todos los cables que lo componen son más cortos que la longitud total de la superestructura.

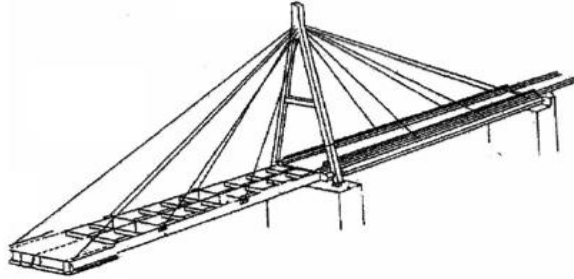


Figura 28. Ejemplo de puente atirantado. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)

### 3.5. Armadura

Consiste de dos armaduras planas vinculadas con vigas transversales y soportes laterales con el fin de formar una estructura tridimensional que pueda resistir un sistema global de cargas. Dentro de sus ventajas estructurales están: las fuerzas principales en los miembros son cargas axiales, el sistema de red abierto el uso de una mayor profundidad que para una sistema equivalente sólido de vigas, su peso liviano permite una mayor versatilidad al momento de ensamblar todos sus miembros, entre otras. Comúnmente se ha convertido en la estructura estándar para puentes colgantes convencionales.

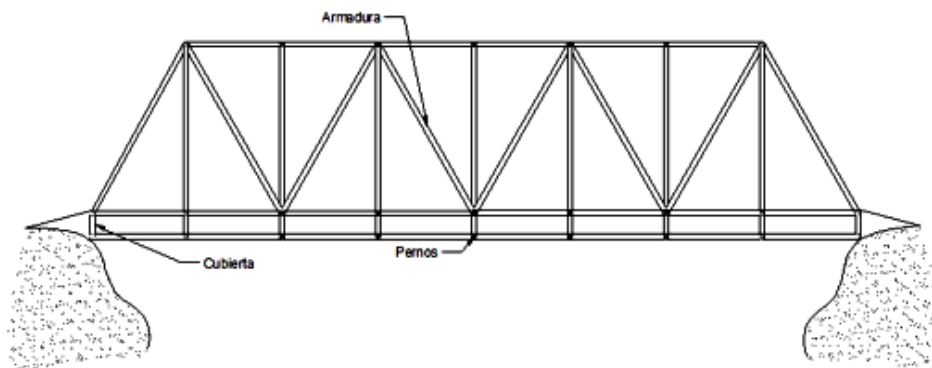


Figura 29. Ejemplo de puente tipo armadura. (Editado en AutoCAD)

### 3.6. Arco

El arco es una estructura que resiste gracias a la forma que se le da. Mediante la forma del arco se reparten las tensiones de manera que se producen compresiones en todas las partes del arco. Del mismo modo es una estructura que salva una luz determinada sometida a esfuerzos de compresión donde las tracciones y flexiones se evitan o reducen al mínimo con lo que conseguimos que materiales que no resistan tracciones puedan ser utilizables para la construcción de esta tipología de estructuras. Sus arcos de medio punto de sillería han llegado hasta nuestros días en gran número de ejemplares, entre los cuales cabe destacar el de Alcántara, sobre el Tajo, en España, con arcos de 30 m de luz. Este tipo de puentes reparten el peso sobre los pilares de apoyo, los arcos contiguos y los apoyos en la tierra firme. De esta manera consiguen mayor distancia entre los pilares.

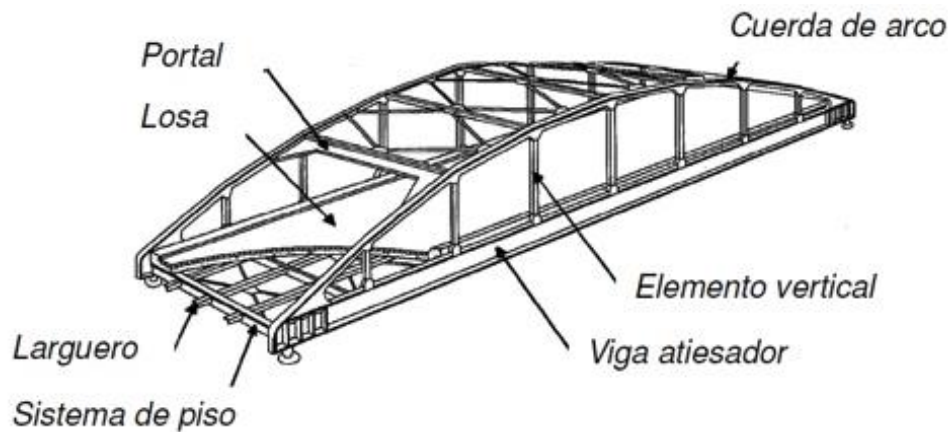


Figura 30. Ejemplo de puente tipo arco de paso inferior. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)

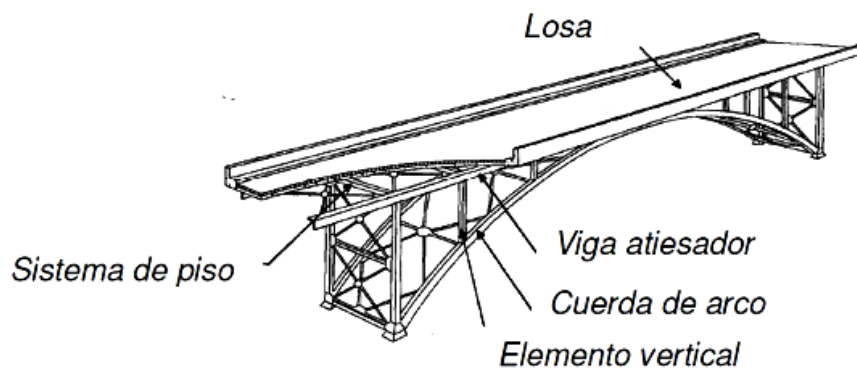


Figura 31. Ejemplo de puente tipo arco de paso superior. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)

Las figuras 29 y 30 mostradas anteriormente muestran la estructura básica de un puente tipo arco compuesta por vigas o armaduras. Cabe destacar que el diseño de este depende de las

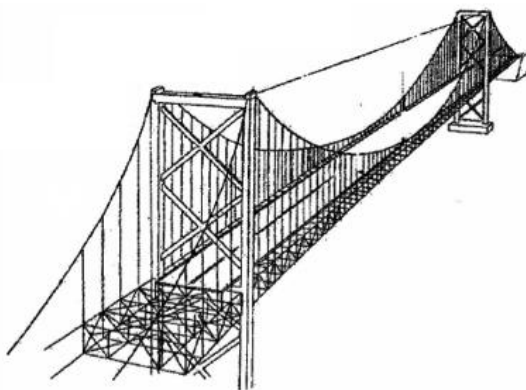


necesidades o condiciones disponibles, por ejemplo, se podría pensar en diseños como el de la figura 6 utilizando arcos colados en concreto y cables que soporten las cargas en tensión generadas por el peso vivo y muerto de la cubierta.

### 3.7. Suspendido

En esta clase de construcciones de gran altura, el peso del puente se sostiene sobre los soportes verticales que se apoyan en el suelo y en los anclajes de las cuerdas. Las torres se fijan a los pilares de sujeción, que pueden estar muy separados entre sí, y sirven de apoyo para los distintos cables. Su estructura principal es elegante y atractivamente expresa su función.

Figura 32. Ejemplo de puente colgante. (Tomado del Manual de Inspección de puentes del MOPT, 2007)



A continuación se presenta una tabla resumen con los diferentes tipos de puentes, clasificados de acuerdo a la configuración estructural de su superestructura y los elementos típicos que se pueden encontrar.

Tipo de superestructura	Elementos típicos presentes en superestructura	Elementos típicos presentes en la subestructura	Elementos no estructurales típicos
Losa	losa	apoyos bastiones pilas fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Viga simple	losa vigas	apoyos bastiones pilas fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Viga continua	losa vigas	apoyos bastiones pilas fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Atirantado	losa vigas torre cable principal cables suspendidos		Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Armadura	losa vigas cercha superior	apoyos bastiones pilas cercha inferior fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Arco	losa arco superior	apoyos bastiones pilas fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización
Suspendido	losa cables	apoyos bastiones pilas fundaciones	Baranda Acera Superficie de Rodamiento Juntas de Expansión Señalización

**Tabla 14. Clasificación de puentes de acuerdo a su configuración estructural**

## 1.4. Prototipo de base de datos para almacenamiento de información referente a puentes<sup>17</sup>

Como se mencionó anteriormente una de las dificultades para poner en marcha el sistema de administración de estructuras de puentes (SAEP) ha sido la falta de una base de datos robusta y acorde a las tendencias actuales.

Es por ello que como parte de una práctica profesional de la carrera de ingeniería en computación, se desarrolló un prototipo de base de datos, con el fin de almacenar la información producto de la evaluación de un puente.

<b>El problema</b>	Después de realizar el estudio del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP), este no se ajustaba con los objetivos que el proyecto deseaba alcanzar, por lo que se debía de diseñar y desarrollar una base de datos que se ajustara a los objetivos y almacenara toda la información necesaria para que estos se cumplieran.
<b>Afectados</b>	El proyecto eBridge
<b>Impacto del problema</b>	No se cuenta con una manera de almacenar toda la información de los puentes junto con la información de las diferentes partes del proyecto.
<b>Solución satisfactoria</b>	Diseñar una base de datos que contemplara el almacenamiento de la información básica del puente, la información del modelo estructural y el modelo de confiabilidad.

**Tabla 15. Parámetros generales considerados para plantear la base de datos**

<sup>17</sup> Este producto se realizó con la colaboración del estudiante Johan Alvarado Ruiz, como parte de su práctica profesional para obtener el título de Ingeniero en Computación y con colaboración del estudiante José Daniel Vargas Picado, estudiante asistente del proyecto eBridge.

El propósito principal es el de proveer un diseño de la base de datos que permita tener un control de la información que se registra de la inspección de los puentes de manera que aseguren los datos recolectados y estos puedan ser actualizados, permitiendo una integridad y consistencia de toda la información que será la base para el correcto funcionamiento del sistema de detección de fallos, ayudando para que sea más fácil el planificar la intervención o el mantenimiento de los puentes.

## **Alcance del prototipo**

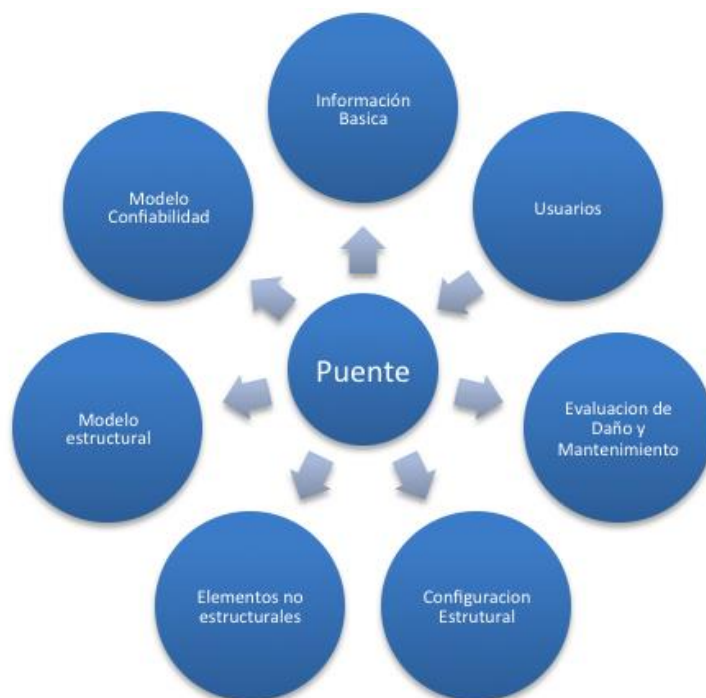
La meta principal del presente proyecto es el diseño de la Base de Datos para el sistema que gestione la información proveniente de la tres grandes áreas: recolección de datos de los inspectores de campo correspondiente a la información básica del puente, la información generada para el modelo estructural y por ultimo la información proveniente del modelo de confiabilidad.

Se contempla dentro del alcance del sistema el desarrollo de los siguientes módulos: información básica del puente, configuración estructural de puente, gestión de información de daño y mantenimiento del puente, modelo estructural del puente, modelo de confiabilidad, usuarios, elementos no estructurales.

No se encuentra dentro del alcance de este proyecto la creación del sistema web que permite la gestión e ingreso de la información.

## **Desarrollo de la base de datos**

Para el desarrollo de la base de datos se definen módulos de manera que se cuente con un desarrollo progresivo de la base de datos. En cada uno de los módulos se tomaran en cuenta solo las tablas principales omitiendo aquellas relacionadas, para entrar en detalle de estas ver el documento: eBridge Monitoring System Diccionario de la Base Datos, en el anexo 7.



**Figura 33. Módulos en prototipo de base de datos**

### **Información básica**

En el módulo de información básica del puente los campos de las tablas donde se almacenaran los datos, fueron obtenidos del manual de inspecciones del MOPT, junto con las personas involucradas dentro del proyecto.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:



**Figura 34. Tablas presentes en el módulo de información básica**

- **Coordenadas Puente:** en esta tabla se almacena la información que se refiere a la localización del puente según sus coordenadas. Para obtener este dato es necesario que la persona que realiza la inspección porte un aparato de sistema de posicionamiento global conocido como GPS por sus siglas en inglés.
- **Cruza sobre:** En esta tabla se almacena la información que se refiere al nombre del río o estructura sobre o debajo de la cual atraviesa el puente.
- **Dimensión:** En esta tabla se almacena la información de las diferentes medidas que se deben obtener en metros: ancho total del puente, el ancho de la calzada, ancho de losa de aproximación
  - Ítem Dimensión: Almacena la información de las diferentes medidas.
- **Especificación:** En esta tabla se almacena información de los Estándares para los Puentes de Carretera emitido por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO).
- **Foto:** En esta tabla se almacenan las imágenes de los planos y fotografías necesarias para complementar la información recolectada del puente
- **Localización:** Se define la ubicación del puente según las siguientes tablas: provincia, cantón y distrito
  - **Cantón:** En esta tabla se almacena el nombre de los cantones correspondientes a una provincia.
  - **Distrito:** En esta tabla se almacena el nombre de los distritos correspondientes a un cantón.

- País: En esta tabla se almacena el nombre del país donde estará el sistema.
  - Provincia: En esta tabla se almacena el nombre de las provincias o estados correspondientes a un país.
- Puente: En esta tabla se almacenara la información básica del puente.
- Restricción: En esta tabla se almacena información referente al caso en que el puente presenta alguna restricción. Si existe una restricción por carga se debe de obtener el dato en toneladas, si es por altura o ancho se debe de obtener en metros.
- Ruta: En esta tabla se almacena la información sobre el número de ruta que presenta el puente.
  - Tipo Ruta: En esta tabla se debe almacenar la información de las cuatro opciones existentes de los tipos de ruta. Existen cuatro tipos de clasificación de la ruta: ruta primaria, secundaria, terciaria o cantonal.
- Tipo de Carga Viva: En esta tabla se almacena el tipo de carga asignada para el diseño del puente se establece en las especificaciones y normas utilizadas en el año de diseño del mismo, si se cuenta con los planos del puente este dato se puede encontrar en la hoja de plan general, de lo contrario se debe de consultar con el encargado de la Dirección de Puentes.
- Tipo de Servicio Publico: En esta tabla se almacena la información para los servicios públicos como agua, gas, telecomunicación, aceite, entre otros, que en algunas ocasiones pasan de un lado a otro conectados al puente.
- Trafico: En esta tabla se almacena los datos recopilados del año en que se realizó el último conteo de tráfico, el total de vehículos que se midieron y por último, el porcentaje de vehículos pesados de esta medición.
- Tipo de Carro: En esta Tabla se almacena la información de los diferentes tipos de vehículos que transitan a diario por los diferentes puentes.

## Usuarios

En el modulo de Usuarios del puente los campos de las tablas donde se almacenaran los datos, fueron obtenidos de las personas involucradas dentro del proyecto.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:

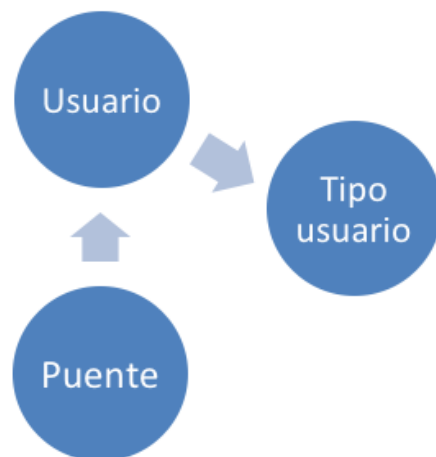


Figura 35. Tablas presentes en el módulo de usuarios

- Usuario: En esta tabla se almacena información de los usuarios que utilizaran el sistema.
  - Tipo de Usuario: En esta tabla se almacena la información de los diferentes tipo de usuarios que fueron propuestos: Administrador, Experto, SIG, Ingeniero.

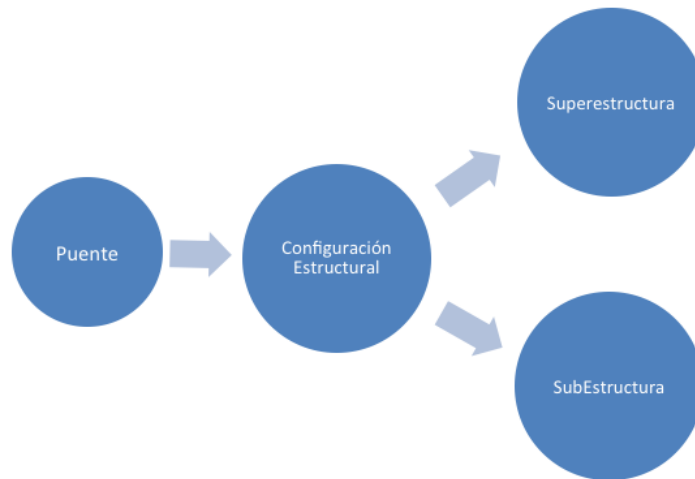
### Configuración estructural

En el modulo de la configuración estructural del puente, abarca la parte de la superestructura del puente y subestructura del puente, los campos de las tablas donde se almacenaran los datos, fueron obtenidos del manual de inspecciones del MOPT, junto con las personas involucradas dentro del proyecto.

En una primera instancia no se contaba con un mayor detalle de que información se necesitaba almacenar, luego de varias revisiones se decidió crear esta configuración estructural para el proyecto, debido a que la existente en el manual no se ajustaba a lo que se requería y no expresaba en forma clara y era difícil de comprender.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:

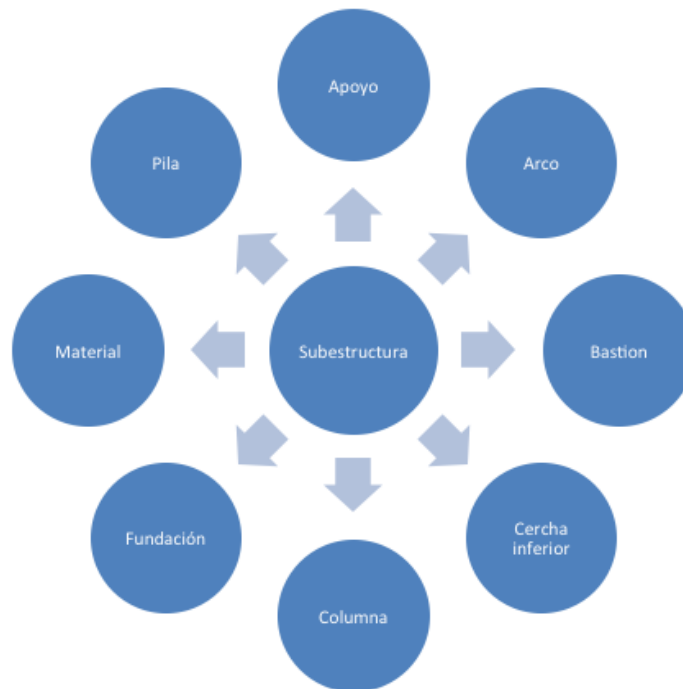




**Figura 36. Tablas presentes en el módulo de configuración estructural**

- Configuración Estructural: En esta tabla se almacena la configuración estructural del puente según el tipo de puente
  - Subestructura: En esta tabla se almacena la información de la subestructura del puente que comprende los apoyos, los bastiones, las pilas, entre otros.
  - Superestructura: En esta tabla se almacena la información de la superestructura del puente compuesta por el piso, los elementos principales (vigas, cerchas, arco, entre otros).

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético correspondiente a la subestructura:

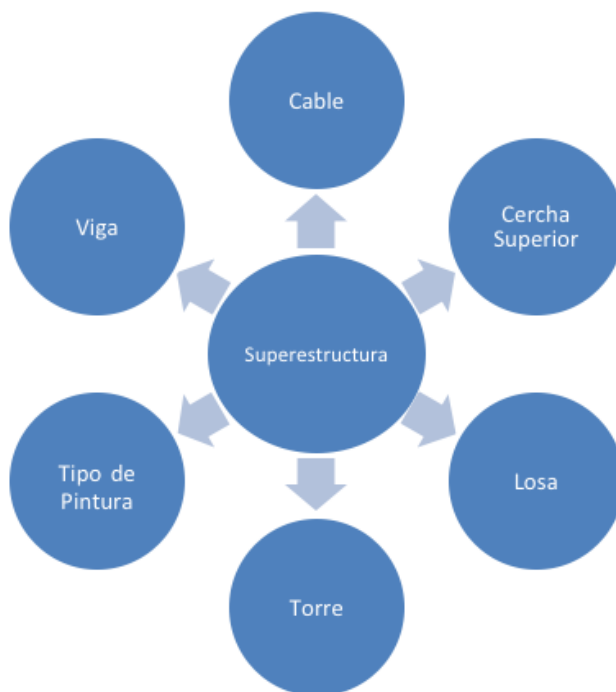


**Figura 37. Tablas presentes en la subestructura**

- **Apoyo:** En esta tabla se almacena la información sistemas mecánicos que transmiten las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Contiene datos como el tipo de apoyo que se presenta en el puente, así como una lista de todos y cada uno de estos elementos encontrados en la estructura.
- **Arco:** En esta tabla se almacena información general de los arcos de un puente.
- **Bastión:** En esta tabla se almacena información de los elemento de la subestructura que sirve de apoyo en los extremos de la superestructura. Contiene datos como el tipo de bastión que presenta y el listado de todos y cada uno de estos encontrados en la estructura.
- **Cercha inferior:** En esta tabla se almacena información a la estructura cuando el paso vehicular es por debajo del puente. Contiene datos como el tipo de cercha inferior.
- **Columna:** En esta tabla se almacena información de los elementos estructurales que transmiten, a través de la compresión, el peso de la estructura superior a otros elementos estructurales inferiores. Contiene datos como el tipo de columna, la sección de la columna una lista de todos y cada uno de estos elementos encontrados en la estructura.
- **Fundación:** En esta tabla se almacena la información de los elementos formados por el cimiento o base del cuerpo principal y el suelo o roca soportante. Contiene datos como el tipo de fundación y el listado de estas en el puente.
- **Material:** En esta tabla se almacena los tipos de materiales de las diferentes estructuras del puente.

- Pila: En esta tabla se almacena la información de las estructuras que sirven de apoyos intermedios a la superestructura. Contiene datos como el tipo de pila y un listado de estas en el puente.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético correspondiente a la superestructura:



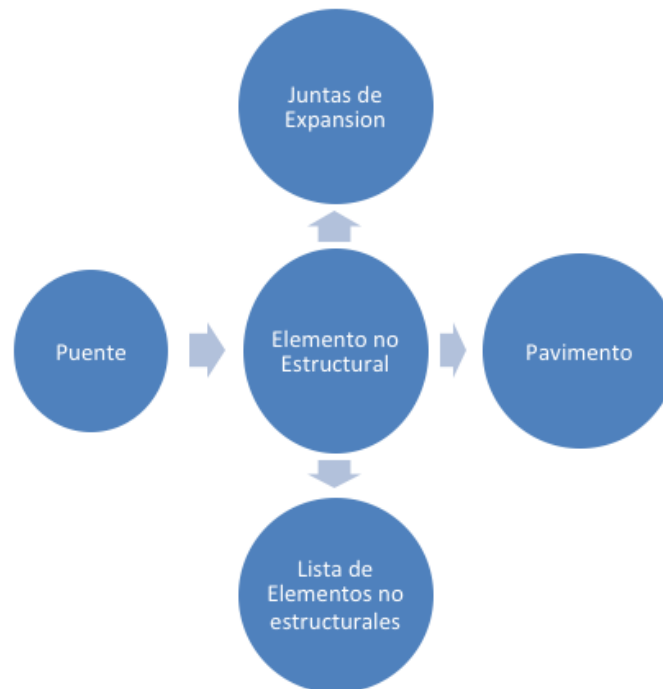
**Figura 38. Tablas presentes en la superestructura**

- Cable: En esta tabla se almacena la información de los cables para los tipos de puentes atirantados. Contiene datos como el tipo de cable y el listado de estos en la estructura.
- Cercha superior: En esta tabla se almacena información a la estructura cuando el paso vehicular es por encima de la estructura del puente. Contiene datos como el tipo de cercha superior.
- Losa: En esta tabla se almacena la información la plataforma sobre la cual circula la carga vehicular.
- Torre: En esta tabla se almacena la información de la estructura de torres para los puentes atirantados.
- Tipo de Pintura: En esta tabla se almacena la información del tipo de pintura que fue utilizada en los elementos de superestructura.
- Viga: En esta tabla se almacena la información elemento estructural cuya función es soportar cargas verticales longitudinalmente y trabajan principalmente en flexión. Contiene datos como el tipo de viga, la sección de la viga y el listado de todas las vigas en la estructura del puente.

## Elementos no estructurales

En el modulo de Elementos no estructurales del puente, abarca todos aquellos elementos que no son necesarios en la configuración estructural del puente, pero se necesitan para la seguridad e información a los usuarios, los campos de las tablas donde se almacenaran los datos, fueron obtenidos del manual de inspecciones del MOPT, junto con las personas involucradas dentro del proyecto.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:



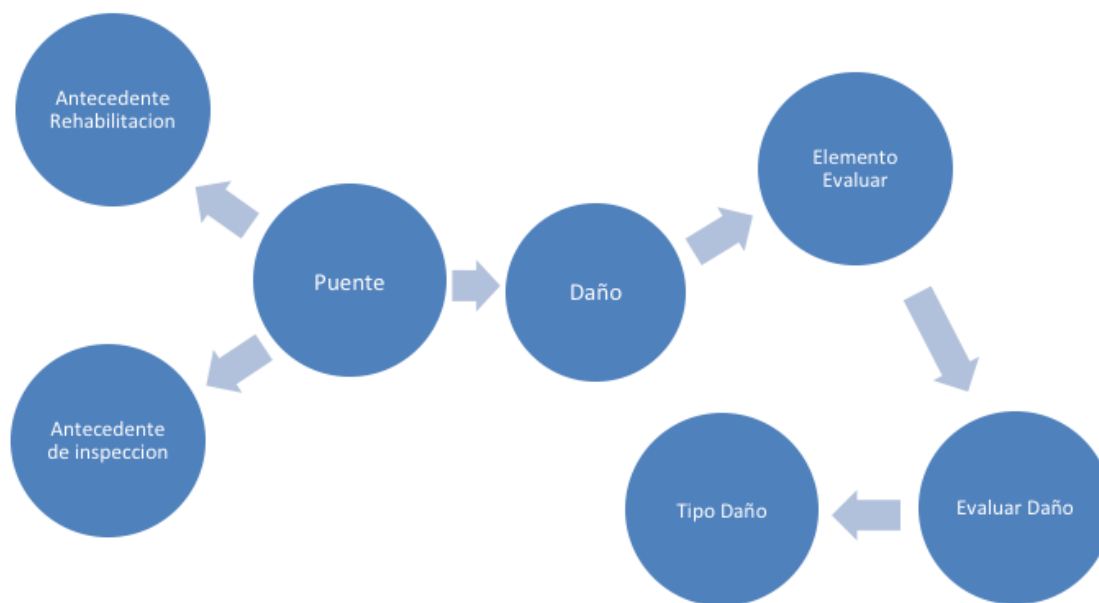
**Figura 39. Tablas presentes en elementos no estructurales**

- Juntas de Expansión: En esta tabla se almacena la información de los Elementos divisorios de la losa instalados en los extremos de cada tipo de superestructura que permite la traslación o rotación.
- Pavimento: En esta tabla se almacena la información obtenida del espesor en milímetros del pavimento tanto de la capa original como también de la sobrecapa si existe.
- Lista de Elementos no estructurales: En esta tabla se almacena la información de los elementos como barandas, letreros, señalizaciones entre otros que puedan aparecer en el puente.

## Evaluación de daño y mantenimiento

En el módulo de Evaluación de daño y mantenimiento del puente, abarca en primera instancia la información obtenida del estado del puente junto con un historial de mantenimientos realizados en este. En el área de evaluación de daño del puente, se deben evaluar todos los elementos estructurales del puente, los datos fueron obtenidos del manual de inspecciones del MOPT, junto con las personas involucradas dentro del proyecto.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:



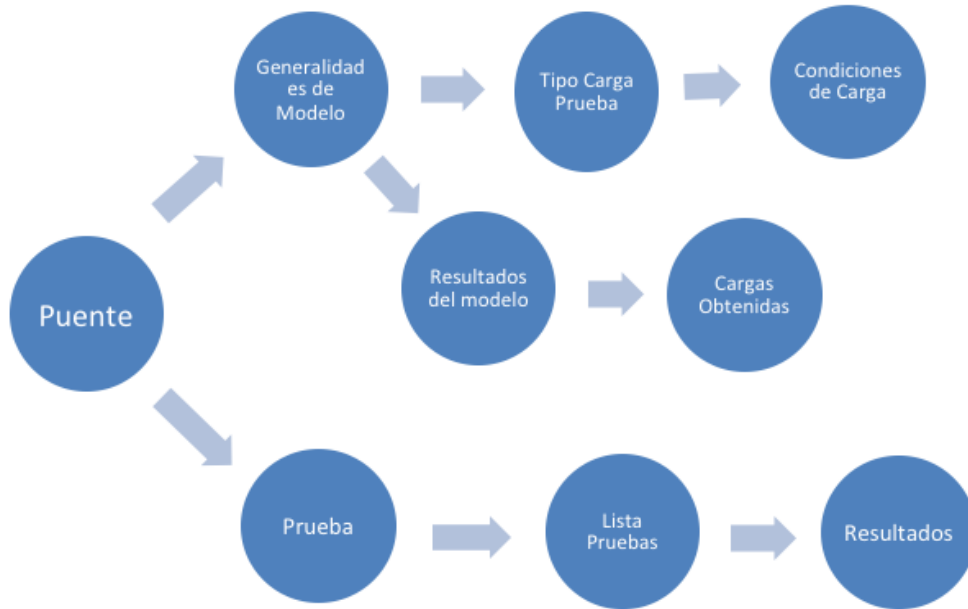
**Figura 40. Tablas presentes en módulo de evaluación de daño y mantenimiento**

- Antecedente de Inspección: En esta tabla se almacena la información general de la inspección realizada por un inspector de campo, acerca del estado del puente.
- Antecedente de Rehabilitación: En esta tabla se almacena la información general de los cambios vistos en el puente con respecto al estado anterior del este.
- Daño: En esta tabla se almacena la información general de la persona encargada de realizar la inspección del puente.
- Elemento Evaluar: En esta tabla se almacena la información de los elementos estructurales del puente a ser evaluados.
- Evaluación Daño: En esta tabla se almacena la información del grado de daño que presentan los elementos a evaluar.
- Tipo Daño: En esta tabla se almacena la información de todas las tablas para la evaluación de daño para los diferentes elementos.

## Modelo estructural

En el modulo de Modelo Estructural del puente, abarca la información de las pruebas que se le realicen al puente así como el modelaje y las diferentes simulaciones que se le realizan a este, los datos fueron obtenidos de las personas involucradas dentro del proyecto.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:



**Figura 41. Tablas presentes en módulo de modelo estructural**

- Condiciones de Carga: En esta tabla se almacena la información sobre el tipo de configuración para las condiciones de carga que se desean para el modelo.
- Cargas Obtenidas: En esta tabla se almacena la información de las cargas que se obtuvieron como resultado luego de aplicar el modelo.
- Generalidades del modelo: En esta tabla se almacena la información sobre la información general de los modelos que se necesitan para las diferentes simulaciones del puente.
- Prueba: En esta tabla se almacena la información general para la prueba que se realizara al puente.
- Lista Pruebas: En esta tabla se almacena la información de todas las pruebas que son realizadas al puente.
- Resultados: En esta tabla se almacena la información de los resultados de las pruebas aplicadas al puente.
- Resultados del modelo: En esta tabla se almacena la información de los resultados dado un modelo para el puente.

- Tipo de Carga de Prueba: En esta tabla se almacena la información los tipos de carga del carril y el valor de carga esperado para este.

### Modelo de confiabilidad

En el modulo del Modelo de confiabilidad del puente, abarca la parte de la del almacenamiento de la red inalámbrica de sensores desarrollada dentro del proyecto de donde se tomaron los datos para el diseño del modulo.

Se obtuvieron las siguientes tablas en orden alfabético:



**Figura 42. Tablas presentes en módulo de modelo de confiabilidad**

- Acelerómetro: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizador, los resultados de aceleración obtenidos y un resumen de estos.
- Crackmeter4420VW: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizador, los resultados de desplazamiento obtenidos y un resumen de estos.
- GPS16XHVS: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizador, los resultados de localización y un resumen de estos.
- SR50A: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizador, los resultados de distancia obtenidos y un resumen de estos.
- ST350StrainGage: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizador, los resultados de deformación obtenidos y un resumen de estos.

- Termocupla: En esta tabla se almacena la información general del sensor, el tipo de sensor utilizado, los resultados de temperatura ambiente como la del panel obtenidos y un resumen de estos.

## Programas utilizados y manejo de versiones

Los programas que se escogieron para el desarrollo de la base de datos del proyecto, cumplen con el requisito de ser programas de código libre bajo la licencia GNU General Public License (GPL). En caso de PostgreSQL este cuenta con una licencia BSD.

Para el diseño de la Base de Datos se utilizo el diagramador DBDesignerFork-1.5-bin-i386-win32.

El script de la base de datos esta desarrollado en PostgreSQL utilizando como editor de texto Notepad++ 6.2.1.

Para el manejo de versiones se cuenta con el siguiente formato:

- Fecha de modificación, nombre del archivo
- Ejemplo: 2012-05-05 eBridge Base de Datos.xml

## Diccionario de datos

- GNU General Public License (GPL): Licencia Pública General de GNU.
- Licencia BSD: es la licencia de software otorgada principalmente para los sistemas BSD (*Berkeley Software Distribution*), es una licencia de software libre permisiva.
- PostgreSQL: es un Sistema de Gestión de Base de Datos relacional orientado a objetos y libre.



## 1.5. Índice de confiabilidad estructural

El manual para evaluación de puentes de la AASTHO fue el estándar utilizado para determinar capacidad de carga.

### Definición de mecanismos de falla para el puente sobre el Río Purires

Para el puente sobre el Río Purires se definieron los siguientes mecanismos de falla:

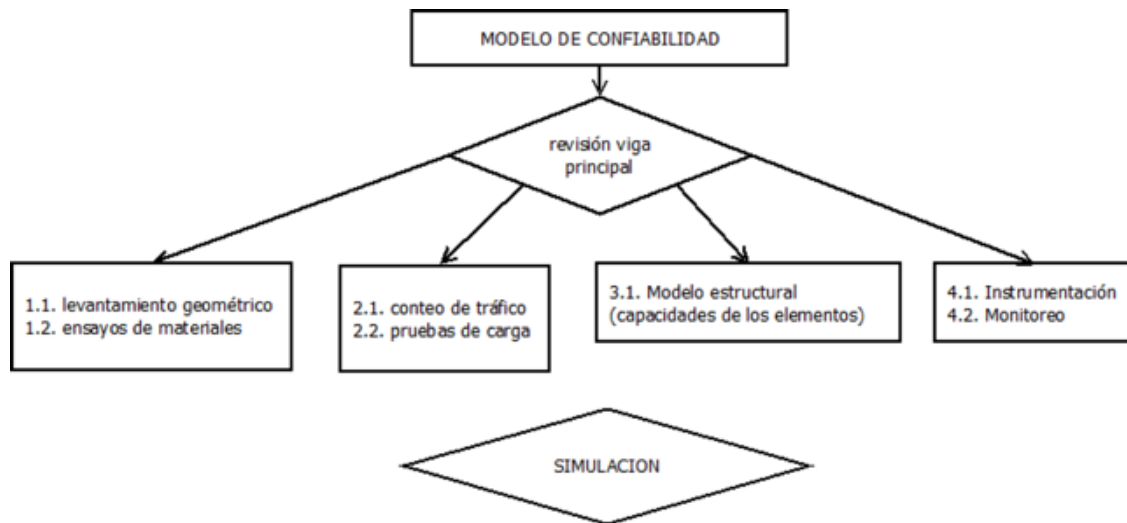
Componente	Función	Posible falla	Efecto de la falla	Causa de la falla	Proceso de control	O	I
Viga principal W27X94	Elemento estructural primario soporte de la estructura	elemento por flexión o cortante uniones por aplastamiento , flexión o cortante	Perdida de estabilidad y posible colapso parcial	fatiga corrosión exceso de carga	inspecciones periódicas	90%	90%
Viga secundaria W16X40	Elemento estructural secundario, para acoplar vigas principales. Compatibilizar deformaciones y disminuir vibraciones	elemento por flexión o cortante uniones por aplastamiento , flexión o cortante	pone en riesgo los elementos estructurales primarios	fatiga corrosión exceso de carga	inspecciones periódicas	40%	50%
Viga secundaria C12X20	Elemento estructural secundario, para acoplar vigas principales. Compatibilizar deformaciones y disminuir vibraciones	elemento por flexión o cortante uniones por aplastamiento , flexión o cortante	pone en riesgo los elementos estructurales primarios	fatiga corrosión exceso de carga	inspecciones periódicas	40%	50%
Losa 15cm espesor	Trasladar las cargas de tránsito a los elementos primarios de la superestructura	Flexión, cortante y abrasión. Falla dúctil, pérdida progresiva de capacidad estructural	Sacaría de operación el puente por funcionalidad	fatiga abrasión exceso de carga	inspecciones periódicas	80%	80%
Apoyo tipo balancín	Trasladar las cargas de la superestructura a los bastiones.	Perdida de estabilidad por deformación lateral Por aplastamiento del concreto, cortante en los pernos.	Perdida de estabilidad del puente y salida de operación del mismo. Colapso parcial, y propagación de daños a otros elementos.	Fatiga, corrosión exceso de cargas, baja resistencia del concreto del bastión	inspecciones periódicas	80%	95%

Componente	Función	Posible falla	Efecto de la falla	Causa de la falla	Proceso de control	O	I
Apoyo fijo	Trasladar las cargas de la superestructura a los bastiones	Perdida de estabilidad por deformación lateral Por aplastamiento del concreto, cortante en los pernos.	Perdida de estabilidad del puente y salida de operación del mismo. Colapso parcial, y propagación de daños a otros elementos	Fatiga, corrosión exceso de cargas, baja resistencia del concreto del bastión	inspecciones periódicas	80%	95%

**Tabla 16. Posibles fallas en puente piloto (viga continua), utilizando metodología FMEA (Kevin, 2001)**

*Nota: O = probabilidad de ocurrencia, I = nivel de importancia*

Como se puede observar en la tabla 16, el elemento que más influye en un buen desempeño estructural de puente son las vigas principales de acero, es por ello que el índice de confiabilidad se enfocará en primera instancia en su análisis.



**Figura 43. Esquema de trabajo para calcular el índice de confiabilidad**

En la figura 43, se muestra el esquema de trabajo seguido para determinar el índice de confiabilidad de la estructura de puente sobre el Río Purires.

### Capacidad de carga del puente sobre el Río Purires

**Limitaciones:** la capacidad de carga calculada es con base en su peso propio y la carga viva. No se incluye un análisis para eventos extremos. Esta metodología podrá aplicarse a otras estructuras, siempre y cuando no sean puentes largos, móviles u otros puentes complejos.

**Consideraciones:** la capacidad se calculará con base en las condiciones estructurales existentes (se tomará como base el modelo estructural presentado anteriormente), las propiedades de los materiales actuales, las cargas y condiciones de tráfico en el momento y las condiciones del sitio de ubicación del puente.

**Justificación:** se calculará esta capacidad de carga debido a que se han producidos cambios en la condiciones estructurales, propiedades de los materiales, cargas y condiciones del tráfico. Además, los métodos analíticos no dan seguridad de resultados confiables dado que no se conoce en detalle el diseño y construcción del puente.

**Nivel de prioridad y enfoque:** este cálculo se enfocará en el nivel de seguridad del puente para soportar cargas vivas (incluyendo sobre cargas) y fatiga. En un futuro proyecto se deben analizar eventos extremos y deberán considerarse la vulnerabilidad para esos eventos incluyendo consideraciones hidráulicas.

### Prueba de carga sobre el puente piloto

Para determinar esa capacidad de carga en el Puente sobre el Río Purires, el viernes 05 de octubre se realizó una prueba de carga, con el fin de cuantificar la respuesta de la estructura a diferentes condiciones de carga.

Los resultados de esta prueba ayudaran a comprender el comportamiento del puente, reduciendo la incertidumbre provocada por las propiedades de los materiales, condiciones de apoyo, contribuciones de la sección transversal, efectividad de las reparaciones e intervenciones previas e influencia del estado de daño o deterioro.

Como objetivos específicos se tienen:

- Comparar el comportamiento estructural del puente entre el modelo teórico con los resultados de las pruebas de carga.
- Determinar las deformaciones, desplazamientos en juntas, desplazamientos verticales en vigas y aceleraciones asociadas a las cargas dadas.
- Establecer la capacidad del puente con los datos obtenidos.
- Revisar las condiciones estructurales y de servicio del puente.

Las pruebas que se realizaron se detallan a continuación:

Tipo de prueba	VARIABLES A MEDIR	Casos de carga	Duración prueba
Estática	Deformación, desplazamiento, deflexión	Caso I y II	30 min cada una
Dinámica	Deformación, aceleración	Caso III y IV	10 min cada una
	Deformación, aceleración y tránsito	Caso V	24 horas

Tabla 17. Detalle de las pruebas de carga realizadas sobre el puente piloto

El esquema general seguido para realizar las pruebas fue el siguiente:

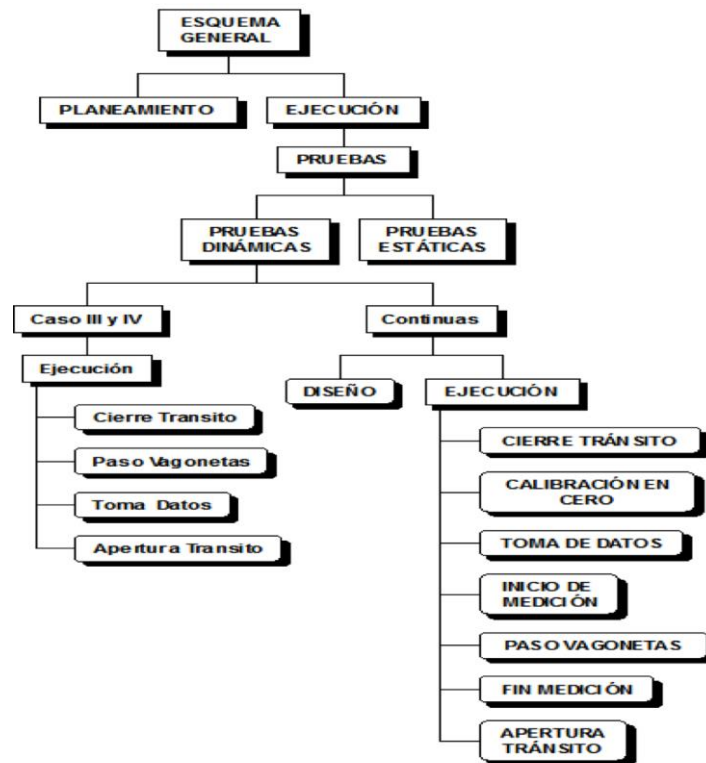


Figura 44. Esquema general de ejecución de pruebas de carga

## Sitio de trabajo

Las pruebas de carga requirieron un diseño de sitio, con el fin de velar por que cada propuesta cumpla con el espacio y condiciones requeridas. Mediante las visitas en campo, se determinaron los lugares factibles para implementar cada prueba y cada tarea.

Los cierres de vías se efectuaron del lado de San Isidro y del lado de Cartago, en cada extremo se contó con oficiales de tránsito para el cierre de vías. Los cierres se realizaron a 400 metros del puente, para brindar seguridad tanto a usuarios como a los encargados de las pruebas de carga.

Las zonas de pesaje se ubicaron a doscientos metros del puente, en una zona amplia de parqueo en un restaurante, se pesaron en dicho lugar, además sirvió de sitio de espera. Las romanas OCONY se instalaron en dicha zona y mediante el equipo de trabajo de eBridge, se procedió a la toma de pesos y dimensiones de las dos vagonetas de 12 m<sup>3</sup> de capacidad de tanque.

El campamento de eBridge se instala del lado de Cartago, se instalan los toldos y se colocan los equipos desde dicha zona. La planta de abastecimiento de energía es colocada, la cual brinda energía a los sensores y computadoras requeridas para las pruebas, igualmente sule a las luces temporales necesarias en la noche por razones de seguridad.

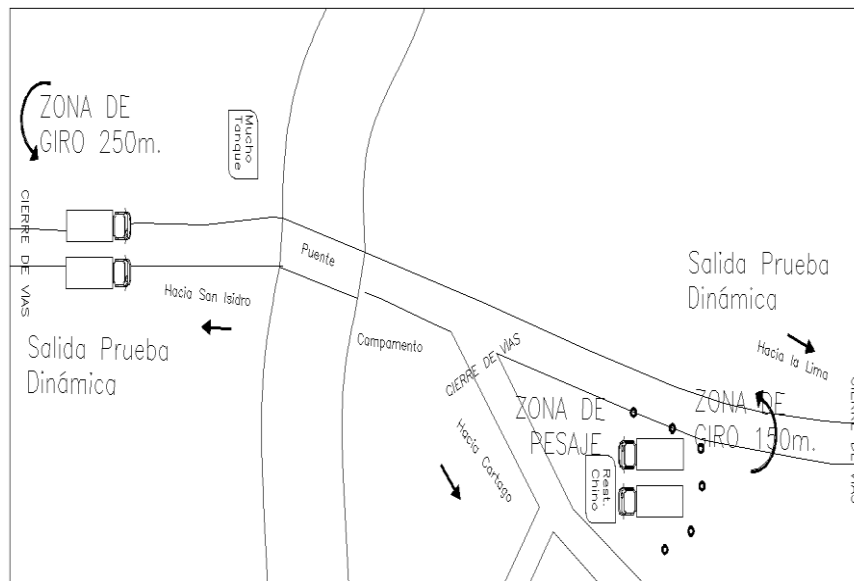


Figura 45. Diseño de sitio de las pruebas de carga

### Cargas aplicadas sobre el el puente

Las cargas aplicadas sobre el puente fueron vagonetas de 30 Ton, las cuales fueron facilitadas por le empresa HOLCIM. A continuación se presentan los detalles:

Diagrama	Dimensiones y Pesos de Carga Viva			
<b>Vagoneta</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	
<b>Dimensiones (m)</b>	<b>Placa N°</b>		<b>151316</b>	<b>151430</b>
	Longitud	L	8,20	8,20
		L1	1,40	1,30
		L2	3,10	3,20
		L3	1,30	-
		L4	1,30	1,30
	Ancho	W	2,40	2,40
		W1	2,00	2,00
W2		0,20	0,20	
<b>Pesos (Kg)</b>	Llantas Delanteras (WF)	Izquierda	3480	3180
		Derecha	3480	3180
		Total	6960	6360
	Llantas Traseras 1 (W1)	Izquierda	3860	-
		Derecha	3860	-
		Total	7720	-
	Llantas Traseras 2 (W2)	Izquierda	3860	5155
		Derecha	3860	5155
		Total	7720	10310
	Llantas Traseras 3 (W3)	Izquierda	3860	5155
		Derecha	3860	5155
		Total	7720	10310
<b>Total</b>		<b>30120</b>	<b>26980</b>	

Figura 46. Características de la carga utilizada para las pruebas

## Condiciones de carga

Definir las condiciones de carga en el puente es de suma importancia, ya que toda estructura tiene su respectiva capacidad y sus características propias. No se puede llegar a tomar una decisión sin su análisis previo por expertos, ya que la estructura puede someterse a esfuerzos que provoquen daños y comprometan la seguridad de todos los usuarios.

El puente sobre el Río Purires se localiza en una zona de alto flujo vehicular, según las características de la estructura y análisis estructurales, el puente cuenta con una capacidad de 103 Ton a flexión, 97 Ton a cortante, 184 Ton a compresión y 399 Ton a tensión (*Informe de capacidad estructural del puente sobre el río Purires, 2012*).

### Caso de carga I

Corresponde a dos vagonetas de 12 metros cúbicos, cargadas de puzolana, proporcionadas por la empresa Holcim. Las dimensiones y pesos se explican en la sección de cargas aplicadas sobre el puente. El caso de carga I corresponde a una condición estática, su duración es de 20 minutos sobre el puente.

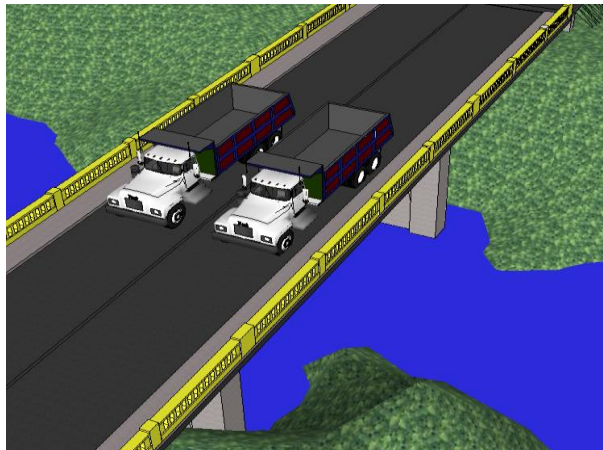
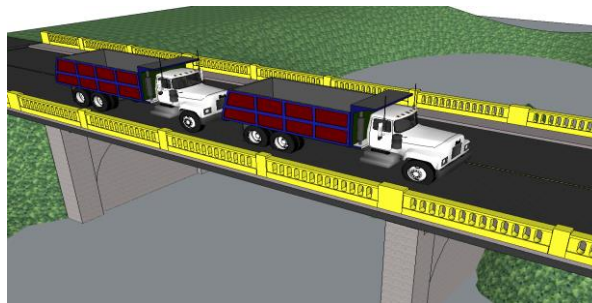


Figura 47. Esquema de condición de carga I

### Caso de carga II

Se utilizan las dos vagonetas del caso I de carga, para esta condición las vagonetas se ubican una de tras de otra, en un solo carril o sentido, en la dirección de San Isidro - Cartago, con el fin de cargar un solo carril. Dicha condición corresponde igualmente a cargas estáticas y con una duración en la toma de datos de 20 minutos.



**Figura 47. Esquema de condición de carga I**

### **Caso de carga III**

Corresponde a cargas dinámicas sobre el puente, de igual manera se utilizan las vagonetas del caso I y II, por lo que sus pesos no varían. La diferencia radica en que esta vez las vagonetas entran juntas en el puente a 40 Km/hora, sentido San Isidro - Cartago.



**Figura 48. Fotografía de la condición de carga III**

### **Caso de carga IV**

Condición de carga dinámica, corresponde al caso II, solo que en movimiento, las vagonetas entran al puente una de tras de otra, distanciadas aproximadamente a 5 metros, con una velocidad total de 40 Km/hora.



**Figura 49. Fotografía de la condición de carga IV**



La condición de carga V corresponde al tránsito normal de la carretera.

Para ver los detalles del protocolo completo de prueba de carga revisar el Anexo 7.

### Instalación de sensores

Se utilizaron 10 sensores de deformación ST350 ubicados en las cinco vigas principales, como se observa en la figura 51. Estos sensores se colocan en el ala superior e inferior del patín de cada una, cada sensor es conectado al Datalogger CR1000.

Para las deflexiones se utilizó el sensor SR50A, se ubica en el tramo central, específicamente en la viga D del puente. Al igual que los sensores de deformación, este se conecta al CR1000 para la recolección de datos.

Los sensores de vibración VBC se colocan en las cinco vigas principales.

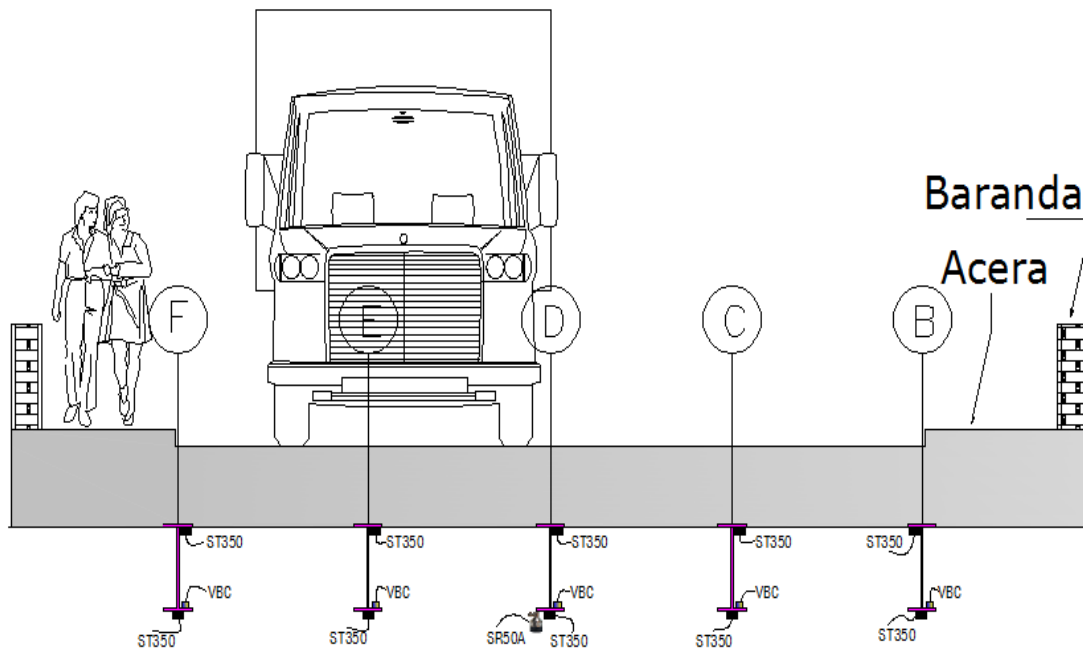


Figura 50. Ubicación de los diferentes sensores.

### Equipos y herramientas para las pruebas:

- 10 sensores ST350, 1 sensor SR50A, 5 sensores de vibración (VBC), 4 sensores VW 4420.
- Pegamento Loctite 410 black y 752.
- Computadora software RTDaq
- Fuente de poder, multímetro
- Dataloger CR1000
- Epóxico
- Varillas de metal
- Lápiz blanco
- Escuadra, nivel, cinta métrica, brocha, diluyente.

### Procedimiento instalación sensores ST350:

- Previo a la instalación, las vigas se limpiaron para dejar el acero expuesto y eliminar pintura o grasa presente.
- Se marca la viga para colocar el sensor, de manera que quede centrado.
- Se aplica el pegamento y se deja sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos sin que se haga presión sobre la galga.

### Procedimiento instalación sensores SR50A

- Se coloca el sensor en placas de madera y mediante prensas metálicas se une a las vigas principales W27X94.
- Se colocan en el tramo central del puente en la viga central y se conecta al CR1000, para la toma de medidas.



Figura 52. Instalación de sensor SR50A

### Detalle de Instalación de sensor VW4420

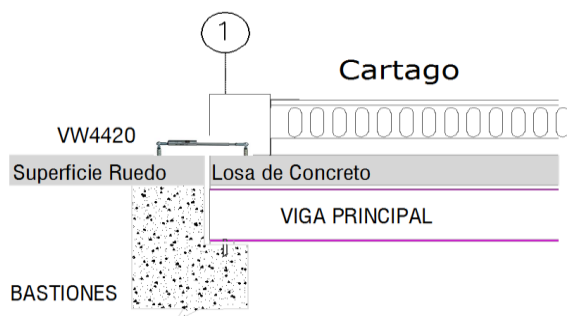


Figura 53. Instalación de sensor VW4420.

Para cada prueba de carga I, II, III y IV, se requiere:

1. Cierre de las vías.
2. Inicio del programa generado en RTDaq en el Dataloger CR1000.
3. Calibración de sensores, al menos cinco minutos, sin que pase ningún vehículo o persona sobre el puente.
4. Colocación de vagoneta según la condición de carga a ejecutar.
5. Quitar las vagonetas sobre el puente.
6. Finalización del Programa.
7. Apertura de tránsito.

### Desarrollo de las pruebas

Las pruebas de carga a ejecutar consisten en pruebas estáticas y dinámicas, cada prueba cuenta con sus respectivas mediciones y usos de los sensores. En el apéndice 3 se encuentra a detalle cada una de estas consideraciones, ubicación de sensores, mediciones a tomar, dimensiones y ubicación de las vagonetas, entre otras.

#### Caso I y III

El caso I corresponde a una condición estática y el caso III una dinámica, ambas vagonetas sentido San Isidro – Cartago.

La prueba dinámica se realiza a una velocidad controlada de 40 Km/hora.

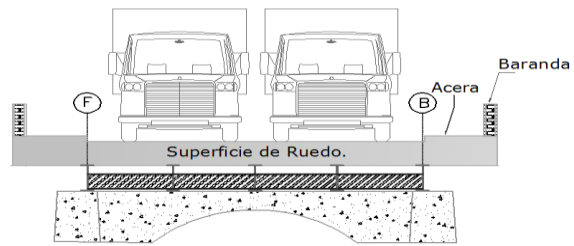


Figura 54. Casos I y III.

### Caso II y IV

El caso II corresponde a una condición estática y el caso IV una dinámica, ambas vagonetas sentido Cartago – San Isidro. La prueba dinámica se realiza a una velocidad controlada de 40 Km/hora.

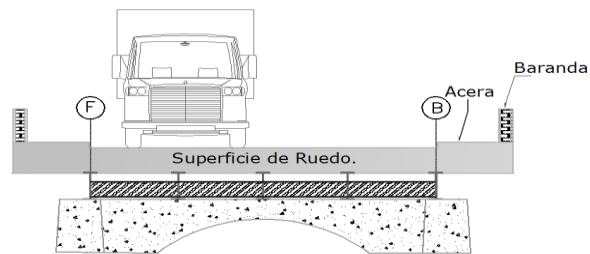


Figura 55. Casos II y IV

## Ejecución de la prueba de carga sobre el puente piloto

El 4 de octubre del 2012 se procedió a la demarcación sobre la carpeta asfáltica de los casos de carga I, II, III y IV. Se marcaron las zonas en donde se colocaron las llantas de las vagonetas.

**Figura 56. Demarcación sobre el puente Purires.**



El 5 de octubre del 2012 a las 4:30 a-m, se sale del TEC y se llega al puente sobre el Río Purires, llega personal de eBridge y mantenimiento del TEC y se procede a la instalación del campamento e instalaciones temporales.



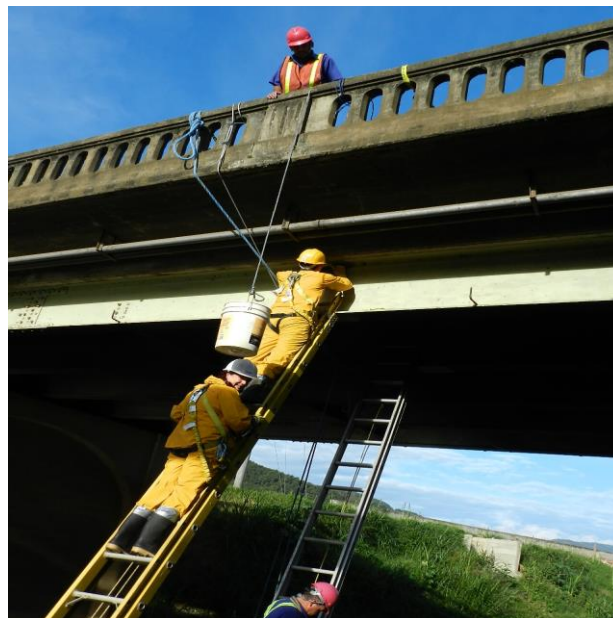
**Figura 57. Instalación de campamento y equipos.**

Se implementan los protocolos de seguridad con la confesión de las líneas de vida. Además se instalan las escaleras para colocar los sensores en las vigas principales.



**Figura 56. Instalación de líneas de vida y escaleras**

Una vez con los arneses y equipos de seguridad, se empieza con la limpieza de las superficies para la instalación de sensores.



**Figura 61. Preparación para la instalación de sensores.**

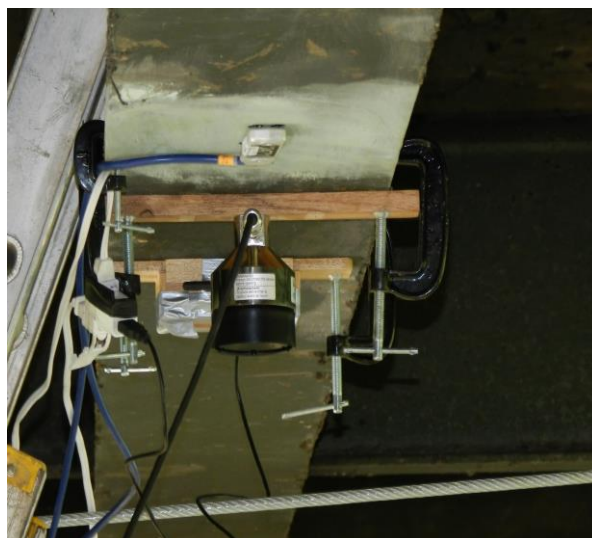


Se inicia con la instalación de los sensores de deformación ST350, en el tramo central del puente, en las cinco vigas principales.



**Figura 62. Preparación para la instalación de sensores**

Sobre una viga se instalan los sensores de deformación, vibración y deflexiones. La figura 63 muestra cómo quedan las vigas totalmente instrumentadas durante las pruebas de carga.



**Figura 63. Viga totalmente instrumentada**



**Figura 64. Tramo central del puente con sensores**



**Figura 65. Instalación de sensores en Juntas de expansión.**

Los sensores de deformación, deflexión y los de juntas se conectan al Datalogger CR1000, el cual se colocó en el tramo central sobre la acera, debido a problemas de longitudes de cables.





**Figura 66. Datalogger CR1000**

El personal de eBridge toma las medidas de las dos vagonetas suministradas por la empresa Holcim, además se pesa cada eje, se lleva un registro y se aplicaron los protocolos previamente diseñados.



**Figura 67 Pesaje de vagonetas**

Una vez instalados los sensores y comprobado su funcionamiento, se procede al desarrollo de las pruebas de carga. La figura 68 muestra la condición II.



**Figura 68. Colocación de vagonetas, prueba estática**

Para las pruebas dinámicas se utilizó un medidor de velocidad para comprobar que ambas vagonetas entraran a 40 Km/hora al puente.



**Figura 69. Medición de velocidad de las vagonetas**



**Figura 70. Prueba dinámica, condición III**

Resultados obtenidos en la prueba de carga

## Conclusiones y recomendaciones

## Aportes y alcances

## Bibliografía

Steve Chase, Bobby Harris , Edgar Small , Chris Nutakor. 1998. Associating Factors Influencing Deterioration And Load Carrying Capacity With Bridges: A GIS Approach. (En línea). Consultado el 9 de febrero del 2012. Disponible en: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc98/PROCEED/TO500/PAP452/P452.HTM>.

Mc Cann, D. y Forde, M. (2001). "Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures". Reino Unido. School of Civil and Environmental Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh EH93JN,

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). The Manual for Bridge Evaluation, Second Edition. USA.

AASHTO. 2010. Especificaciones para el diseño de puente LRFD. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., Estado Unidos.

Barker, R. M. Design of highway bridges: based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications / Richard M. Barker , Jay A. Puckett. John Wiley & sons, 1997.

Lockhart, Thomas. Guía del Programador de PostgreSQL

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). The Manual for Bridge Evaluation, Second Edition. 2011.

Otto, Kevin N. & Wood, Kristin. Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Prentice Hall, EEUU. 2001.

Estes, Allen C. A system reability approach to the lifetime optimization of inspection and repair of highway bridges. Tesis doctoral del Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Arquitectura. Universidad de Colorado. Estados Unidos. 1997.

Nowak, A.S. System reliability models for bridge structures. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Val. 52, No. 4, 2004.

Foro económico mundial. Informe global de competitividad 2012 - 2013.

Chase, Steve; Harris, Bobby; Small, Edgar and Nutakor, Chris. (1998). " Associating actors Influencing Deterioration and Load Carrying Capacity with Bridges: A GIS Approach". Federal Highway Administration, HNR 10: 1-16.

DeWolf, J.T., Culmo, M.P. and Lauzon, R.G. (1998). "Connecticut's Bridge Infrastructure Monitoring Program for Assessment". J. Infrastructure Systems, ASCE, 4(2): 86-90.

R.G. Lauzon and J.T. DeWolf. 2003. Connecticut's Bridge Monitoring Program – Making Important Connections Last. TR News, January/February No. 24:46-47.

DeWolf, John T.; D'Attilio, Paul F.; Feldblum, Eric G. and Lauzon, Robert G. (2006). "Bridge Monitoring Network – Installation and Operation". University of Connecticut and Connecticut Department of Transportation. Report No. CT-2217-F-06-10.

R. Sartor, M.P. Culmo and J.T. DeWolf. 1999. Short Term Strain Monitoring of Bridge Structures. Journal Bridge Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 4, No. 3:157-164.

Montreuil, Mike and Halloran, John (2003). "Monitoring and research designed for the long-term: Confederation Bridge, Prince Edward Island, Nova Scotia, Canada." National Research Council and Campbell Scientific, Inc.

Smolenski, Peter; Johnson, Jeff; Cuelho, Eli and Stephens Jerry (2004). "Evaluating bridge deck performance in Montana". Montana Department of Transportation.

White, Kenneth R.; Minor, John and Derucher, Kenneth N. "Bridge Maintenance inspection and evaluation". 2nd ed., rev. and expanded 1992 (Marcel Dekker Inc.).

## **Anexos**

Anexo 1. Informe de pruebas de concepto realizadas

Anexo 2. Encuesta aplicada a profesionales en el área de puentes.

Anexo 3. Visita expertos de Virginia Tech.

Anexo 4. Formulario de inventario e inspección para el puente sobre el río Purires.

Anexo 5. Planos realizados para el puente sobre el río Purires.

Anexo 6. eBridge Monitoring System Diccionario de la Base Datos y esquema de base de datos.

Anexo 7. Protocolo de pruebas de carga.



## Anexo 1. Informe de pruebas de concepto realizadas

Anexo 2. Encuesta aplicada a profesionales en el área de puentes.

### **Anexo 3. Visita expertos de Virginia Tech.**



Con los fondos provistos por el CONICIT, durante la última semana del mes de julio del 2011, se contó con la visita de tres expertos en área de puentes de Virginia Tech. El Ing. Thommas Cousins fue el líder de dicha visita.

Las actividades principales fueron la asesoría en el desarrollo del proyecto, se realizó una visita al puente piloto seleccionado y se obtuvo asesoría en instrumentación y recomendaciones de mejoras en el laboratorio, además se realizó un seminario sobre estructuras de puentes.

El **Seminario sobre estructuras de puentes** se realizó el 26 de julio en el TEC, se contó con expositores nacionales e internacionales, participaron 51 personas involucradas en la temática de puentes: MOPT, CONAVI, TEC, UCR y LANAMME.

Los temas planteados en dicho seminario fueron:

- Situación del país en infraestructura de puentes. Ing. María Lorena López R., Viceministra de Infraestructura del MOPT en ese momento.
- Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes. Ing. Mario Loría, Dirección de Puentes del MOPT.
- Programa de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP). Ingenieras María Ramírez y Yorleny Gutiérrez, Dirección de Puentes del MOPT.
- Instrumentación sísmica del sobre el río Virilla, Ing. Guillermo Santana, LANAMME, UCR.
- Overview FHWA's Long Term Bridge Performance, Eng. Tommy Cousins, Civil and Environment Department - Virginia Tech - USA.
- Live Load and Long Term Monitoring of Virginia Pilot bridge, Eng. Marc Maguire, Civil and Environment Department - Virginia Tech - USA.
- Deck Evaluation of Virginia Pilot bridge, Eng. Carin Roberts-Wollmann, Civil and Environment Department - Virginia Tech - USA.

Anexo 4. Formulario de inventario e inspección para el puente sobre el río Purires.

Anexo 5. Planos realizados para el puente sobre el río Purires.

**Anexo 6. eBridge Monitoring System Diccionario de la Base Datos y esquema de base de datos.**

---

# eBridge Monitoring System Diccionario de la Base Datos

---

**Preparado por:** Daniel Vargas Picado

**Versión:** 2.0

**Documento #:** 1

**Fecha:** 2012-10-25

**Palabras Clave:**

- PK: Primary key o llave primaria, es un identificador único para esa tabla.
- FK: Foreign key o llave foránea, corresponde al identificador PK de una tabla que se encuentra en presente en otra tabla en la que esta se encuentra relacionada.
- Bigint: tipo de dato que permite almacenar números enteros de gran tamaño.
- Int: tipo de dato que permite almacenar números enteros.
- Varchar: tipo de dato que permite almacenar información de tipo alfanumérica
- Float: tipo de dato que permite almacenar información de números con parte fraccionaria.
- Date: tipo de dato que permite almacenar información sobre fechas.
- *Bytea: tipo de dato binario para el almacenamiento de imágenes en postgresQL.*

Área	Tabla	Atributo	Tipo	Descripción
Información Básica del Puente	Puente	idPuente (PK)	Bigint	Identificador del puente, es un campo generado automáticamente.
		idAlineacionPuente (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Alineación del Puente.
		noRuta (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Ruta para el Puente que corresponde al número de la ruta.
		idDistrito (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla distrito correspondiente a la Localización del Puente.
		idUsuario (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla usuario del Puente.
		idTipoPuente (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Puente.
		idTráfico (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tráfico que presenta el Puente.
		idEspecificacion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Especificación de Puente.
		idTipoCargaViva (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla tipo de carga viva del Puente.
		idDimension (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla dimensión del Puente.
		numeroPuente	Int	Almacena el número de puente que generado por el MOPT.
		nombrePuente	Varchar(25)	Almacena el nombre del puente.
		kilometro	Float	Almacena el kilometro donde está ubicado el puente en la ruta.
		administracion	Varchar(25)	Almacena el nombre del encargado de administrar el puente.
		direccionVia	Varchar(50)	Almacena la dirección de la vía del puente.
		longitudTotal	Float	Almacena la longitud total del puente.
		noSuperEstructura	Int	Almacena el número de superestructuras que presenta el puente.
		noTramos	Int	Almacena el número total de tramos que presenta el puente
		noSubEstructura	Int	Almacena el número de subestructuras que presenta el puente.
		pendienteLongitudinal	Int	Almacena la pendiente que presenta el puente.
		longitudDesvio	Float	Almacena la longitud del desvío que presenta el puente.
		fchDiseno	Date	Almacena la fecha en la que se diseño el puente.
		fchConstruccion	Date	Almacena la fecha de construcción del puente.

	estado	Varchar(10)	Almacena el estado que esta el puente, corresponde a un campo lógico (disponible, deshabilitado).
Restriccion	idRestriccion (PK)	Int	Identificador de la tabla Restricción, es un campo generado automáticamente.
	idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla puente.
	restriccion	Varchar(25)	Almacena la restricción que se observa en el puente.
	valor	Float	Almacena el valor que tenga la restricción.
Ruta	noRuta (PK)	Bigint	Identificador de la tabla Ruta, es un campo que almacena el numero de la ruta del puente
	idTipoRuta	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Ruta.
TipoRuta	idTipoRuta (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Ruta, es un campo generado automáticamente.
	TipoRuta	Varchar(25)	Almacena el nombre de los tipos de rutas que existen en el país.
AlineacionPuente	idAlineacionPuente (PK)	Int	Identificador de la tabla Alineación del puente, es un campo generado automáticamente.
	TipoAlineacion	Varchar(15)	Almacena la alineación de la planta.
Pais	idPais (PK)	Int	Identificador de la tabla País, es un campo generado automáticamente.
	nombrePais	Varchar(50)	Almacena el nombre del país.
Provincia	idProvincia (PK)	Int	Identificador de la tabla Provincia, es un campo generado automáticamente.
	idPais (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla País.
	nombreEstado	Varchar(50)	Almacena el nombre de la provincia o estado.
Canton	idCanton (PK)	Int	Identificador de la tabla Alineación del puente, es un campo generado automáticamente
	idProvincia (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Provincia.
	nombreCanton	Varchar(50)	Almacena el nombre del cantón.
Distrito	idDistrito (PK)	Int	Identificador de la tabla Distrito, es un campo generado automáticamente
	idCanton (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Cantón.
	nombreDistrito	Varchar(50)	Almacena el nombre del distrito.
TipoCargaViva	idTipoCargaViva (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de



			Carga Viva, es un campo generado automáticamente.
	cargaViva	Varchar(20)	Almacena los tipos de cargas asignadas.
Especificacion	idEspecificacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Especificación, es un campo generado automáticamente
	nombreEspecificacion	Varchar(25)	Almacena la especificación de diseño de los puentes.
TipoServicioPublico	idTipoServicioPublico (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Servicio Publico, es un campo generado automáticamente
	nombreServicio	Varchar(25)	Almacena el nombre de los diferentes servicios públicos.
ServicioPublicoXPuente	idTipoServicioPublico (PK)	Int	Identificador de la tabla que procede del Tipo de Servicio Publico.
	idPuente (PK)	Bigint	Identificador de la tabla que procede del Puente.
CruzaSobre	idCruzaSobre (PK)	Int	Identificador de la tabla CruzaSobre, es un campo generado automáticamente
	idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Cantón.
	nombreCruza	Varchar(25)	Almacena el nombre del río o estructura sobre o debajo de la cual atraviesa el puente.
TipoCarro	idTipoCarro (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Carro, es un campo generado automáticamente.
	idTrafico (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tráfico.
	tipoCarro	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de carro.
	peso	Float	Almacena el peso correspondiente al tipo de carro.
Trafico	idTrafico (PK)	Int	Identificador de la tabla Trafico, es un campo generado automáticamente
	totalVehiculos	Int	Almacena el total de vehículos.
	anio	Date	Almacena el año en el que se hizo el conteo de vehículos.
	porcentajePesados	Float	Almacena el porcentaje de vehículos correspondiente al conteo de los mismos.
TipoPuente	idTipoPuente (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Puente, es un campo generado automáticamente
	tipoPuente	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de puente.
CoordenadasPuente	idCoordenadasPuente (PK)	Int	Identificador de la tabla Coordenadas puente, es un campo

			generado automáticamente
	idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
	ywgs84Latitud	Float	Almacena la latitud del puente en formato wgs84.
	xwgs84Longitud	Float	Almacena la Longitud del puente en formato wgs84.
	latGrados	Float	Almacena la latitud del puente en grados.
	latMinutos	Float	Almacena la latitud del puente en minutos.
	LatSegundos	Float	Almacena la latitud del puente en segundos.
	lonGrados	Float	Almacena la Longitud del puente en grados.
	lonMinutos	Float	Almacena la Longitud del puente en minutos.
	lonSegundos	Float	Almacena la Longitud del puente en segundos.
	latitud	Varchar(10)	Almacena el nombre del punto cardina de la latitud del puente.
	longitud	Varchar(10)	Almacena el longitud del punto cardina de la latitud del puente
Dimension	idDimension (PK)	Int	Identificador de la tabla Dimensión, es un campo generado automáticamente.
	anchoTotal	Float	Almacena el ancho total del puente.
	calzada	Float	Almacena el ancho total de la calzada del puente.
	waprox	Float	Almacena el Ancho de losa de aproximación.
ItemDimension	idItemDimension (PK)	Int	Identificador de la tabla ítem Dimensión, es un campo generado automáticamente
	idDimension (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Dimensión.
	Item	Int	Almacena el nombre del ítem de la dimensión.
	W	Float	Almacena el width (ancho) del ítem.
	H	Float	Almacena el height (altura) del ítem.
Material	idMateriales	Int	Identificador de la tabla Material, es un campo generado automáticamente.
	nombreMaterial	Varchar(25)	Almacena del nombre del material.
PuenteXMaterial	idPuente (PK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
	idMaterial (PK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
TipoFoto	idTipoFoto (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Foto, es un campo generado automáticamente.

	Foto	Titulo	Varchar(25)	Almacena el nombre o titulo con el que se identifica el tipo de foto.
		idFoto (PK)	Int	Identificador de la tabla Foto, es un campo generado automáticamente
		idTipoFoto	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Foto.
	PuenteXFoto	foto	bytea	Almacena la imagen del puente.
		idPuente (PK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		idFoto (PK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Foto.
Mantenimiento de los elementos del puentes	TipoAntecedenteInspeccion	idTipoAntecedenteInspeccion (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Antecedente de Inspección, es un campo generado automáticamente
		tipoInspeccion	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de inspección.
	AntecedenteInspeccion	idAntecedenteInspeccion (PK)	Int	Identificador de la tabla Antecedente de Inspección, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		idTipoAntecedenteInspeccion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Antecedente de Inspección.
		inspector	Varchar(50)	Almacena el nombre completo del inspector que realizo la inspección del puente.
		fchInspeccion	Date	Almacena la fecha en la que realizo la inspección del puente.
		observaciones	Varchar(255)	Almacena las posibles observaciones que el inspector le realice al puente.
	AntecedenteRehabilitacion	idAntecedenteRehabilitacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Antecedente de Rehabilitación, es un campo generado automáticamente.
		idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		Elementos	Varchar(25)	Almacena el nombre del elemento al cual se le realizara la rehabilitación.
		codigoElemento	Int	Almacena el identificador correspondiente del elemento al que se le realiza la inspección.
		contramedidas	Varchar(255)	Almacena el nombre de la contramedida que se realizo en el puente.
		fchRehabilitacion	Date	Almacena la fecha en la que se realizo la rehabilitación del puente.
		observacion	Varchar(255)	Almacena las posibles observaciones que el encargado le realice al puente.
		encargadosRehabilitacion	Varchar(25)	Almacena el nombre del encargado que realizo el mantenimiento al puente.

Configuración Estructural del	ElementoEvaluar	idElementoEvaluar (PK)	Int	Identificador de la tabla Elemento a Evaluar, es un campo generado automáticamente.
		idDano (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Daño.
		elementoNombre	Varchar(50)	Almacena el nombre del elemento al cual se le realizara la evaluación.
		codigoElemento	Int	Almacena el identificador correspondiente del elemento al que se le realiza la evaluación.
		comentario	Varchar(225)	Almacena las posibles observaciones o comentarios que se le realice al elemento.
	EvaluarDano	idEvaluarDano (PK)	Int	Identificador de la tabla Evaluar Daño, es un campo generado automáticamente
		idTipoDano (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo Daño.
		idElementoEvaluar (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Elementos Evaluar.
		Item	Varchar(50)	Almacena el nombre del ítem de evaluación del puente.
		Evaluacion	Int	Almacena el grado de daño según una escala determinada.
	TipoDano	idTipoDano (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Daño, es un campo generado automáticamente
		idSubElementosEvaluar (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subelementos a Evaluar.
		nombreEvaluacion	Varchar(50)	Almacena el nombre de la evaluación.
		gradoDano	Int	Almacena el grado de daño.
		Descripcion	Varchar(255)	Almacena la descripción del grado de daño.
	Dano	idDano (PK)	Int	Identificador de la tabla Daño, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		Inspector	Varchar(50)	Almacena el nombre del inspector que evalúa el daño del puente.
		fchInspeccion	Date	Almacena la fecha en la que se realiza la evaluación del daño del puente.
	ConfiguracionEstructural	idConfiguracionEstructural (PK)	Int	Identificador de la tabla Configuración estructural, es un campo generado automáticamente
idPuente (FK)		Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.	

	nombreConfiguracion	Varchar(25)	Almacena el nombre de la configuración estructural del puente.
	descripcion	Varchar(255)	Almacena las posibles descripción que el desee realiza a la configuración.
Superestructura	idSuperestructura (PK)	Int	Identificador de la tabla Superestructura, es un campo generado automáticamente
	idConfiguracionEstructural (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración estructural.
	longitudTotal	Float	Almacena la longitud total.
	tramoMaximo	Float	Almacena el tramo máximo de la superestructura.
TipoPintura	idTipoPintura (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Pintura, es un campo generado automáticamente
	TipoPintura	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de pintura.
Losa	idLosa (PK)	Int	Identificador de la tabla Losa, es un campo generado automáticamente
	idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
	idTipoPintura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Pintura.
	idSuperestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Superestructura.
	espesorLosa	Float	Almacena el espesor de la losa.
Viga	idViga (PK)	Int	Identificador de la tabla Viga, es un campo generado automáticamente
	idMaterial (FK)	Int	Identificador de la tabla Material, es un campo generado automáticamente
	idSuperestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Superestructura.
	noVigasTotal	Int	Almacena el número total de vigas.
	tramoMaximoVigas	Float	Almacena el tramo máximo de las vigas.
ListaVigas	idListaVigas (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista de vigas, es un campo generado automáticamente
	idTipoPintura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de pintura.
	idSeccionViga (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla sección de la viga.
	idTipoViga (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla tipo de viga.
	idViga (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla viga.
	nombreViga	Varchar(25)	Almacena el nombre al que se le quiere asignar a la viga.
	alturaViga	Float	Almacena la altura de la viga.

	longitudViga	Float	Almacena la longitud de la viga.
TipoViga	idTipoViga (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de viga, es un campo generado automáticamente
	nombreTipo	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de la viga.
SeccionViga	idSeccionViga (PK)	Int	Identificador de la tabla Sección de la Viga, es un campo generado automáticamente
	nombreSeccionViga	Varchar(25)	Almacena el nombre de la sección de la viga.
Torre	idTorre (PK)	Int	Identificador de la tabla torre, es un campo generado automáticamente
	idTipoPintura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Pintura.
	idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
	idSuperestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Superestructura.
	nombreTorre	Varchar(25)	Almacena el nombre la torre.
	altura	Float	Almacena la altura de la torre.
TipoCerchaSuperior	idTipoCerchaSuperior (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Cercha Superior, es un campo generado automáticamente
	tipoCerchaSuperior	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de cercha superior.
CerchaSuperior	idCercha (PK)	Int	Identificador de la tabla Cercha superior, es un campo generado automáticamente
	idTipoPintura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Pintura.
	idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
	idSuperestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Superestructura.
	idTipoCerchaSuperior (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Cercha Superior.
	nombreCerchaS	Varchar(25)	Almacena el nombre de la cercha superior.
	altura	Float	Almacena la altura de la cercha superior.
TipoCable	idTipoCable (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Cable, es un campo generado automáticamente.
	nombreTipoCable	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de cable.
Cable	idCable (PK)	Int	Identificador de la tabla Cable, es un campo generado automáticamente
	idTipoCable (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Cable.

		idTipoPintura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Pintura.
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idSuperestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Superestructura.
		nombreCable	Varchar(25)	Almacena el nombre del cable.
		diametro	Float	Almacena el diámetro del cable.
Subestructura		idSubestructura (PK)	Int	Identificador de la tabla Subestructura, es un campo generado automáticamente
		idConfiguracionEstructural (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración Estructural.
		alturaMaxima	Float	Almacena la altura máxima de la subestructura.
Apoyo		idApoyo (PK)	Int	Identificador de la tabla Apoyo, es un campo generado automáticamente
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		totalApoyo	Int	Almacena el total de apoyos del puente.
		distanciaApoyos	Int	Almacena la distancia dente apoyos
ListaApoyo		idListaApoyo (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista Apoyo, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idTipoApoyo (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Apoyo.
		idApoyo (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Apoyo.
		anchoAsientoApoyo	Float	Almacena el ancho del asiento del apoyo.
		ejeApoyo	Varchar(25)	Almacena el eje del apoyo.
		posicionX	Float	Almacena la posición X del apoyo.
		nombreApoyo	Varchar(25)	Almacena el nombre del apoyo
TipoApoyo		comentario	Varchar(255)	Almacena algún comentario u observación que se le realice al apoyo.
		idTipoApoyo (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Apoyo, es un campo generado automáticamente
	nombreTipoApoyo	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de apoyo.	
Arco		idArco (PK)	Int	Identificador de la tabla Arco, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.

		nombreArco	Varchar(25)	Almacena el nombre del arco.
		comentario	Varchar(255)	Almacena algún comentario u observación que se le realice al arco.
Bastion		idBastion (PK)	Int	Identificador de la tabla Bastión, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		idTipoBastion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Bastión.
		alturaBastion	Float	Almacena la altura del bastión.
		anchoBastion	Float	Almacena el ancho del bastión.
		espesorBastion	Float	Almacena el espesor del bastión.
		nombreBastion	Varchar(25)	Almacena el nombre del bastión.
TipoBastion		idTipoBastion (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Bastión, es un campo generado automáticamente
		nombreTipoBastion	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de bastión.
CerchaInferior		idCerchaInferior (PK)	Int	Identificador de la tabla Cercha Inferior, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		idTipoCerchaInferior (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Cercha Inferior.
		nombreCerchal	Varchar(25)	Almacena el nombre de la cercha inferior.
		altura	Float	Almacena la altura del a cercha inferior
TipoCerchaInferior		idTipoCerchaInferior (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Cercha Inferior, es un campo generado automáticamente.
		nombreTipoCerchaInferior	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de cercha inferior.
Columna		idColumna (PK)	Int	Identificador de la tabla Columna, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		totalColumnas	Int	Almacena el total de columnas.
ListaColumna		idListaColumna (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista Columna, es un campo generado automáticamente



		idTipoColumna (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Columna.
		idSeccionColumna (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Sección de la Columna.
		idColumna (PK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Columna.
		nombreColumna	Varchar(25)	Almacena el nombre de la columna.
		alturaColumna	Float	Almacena la altura de la columna.
		dimension1	Float	Almacena la dimensión 1 de la columna.
		dimension2	Float	Almacena la dimensión 2 de la columna.
	SeccionColumna	idSeccionColumna (PK)	Int	Identificador de la tabla Sección Columna, es un campo generado automáticamente
		nombreSeccionColumna	Varchar(25)	Almacena el nombre de la sección de la columna.
	TipoColumna	idTipoColumna (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Columna, es un campo generado automáticamente
		nombreTipoColumna	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de columna.
	Fundacion	idFundacion(PK)	Int	Identificador de la tabla Fundación, es un campo generado automáticamente
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		cantidadFundacion	Int	Almacena la cantidad total de fundaciones del puente.
	ListaFundacion	idListaFundacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista Fundación, es un campo generado automáticamente
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material.
		idTipoFundacion (PK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Fundación.
		idFundacion(FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Fundación.
		nombreFundacion	Varchar(25)	Almacena el nombre de la fundación.
		anchoFundacion	Float	Almacena el ancho de la fundación.
		largoFundacion	Float	Almacena el largo de la fundación.
	TipoFundacion	idTipoFundacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Fundación, es un campo generado automáticamente.
		nombreTipoFundacion	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de fundación.
	Pila	idPila (PK)	Int	Identificador de la tabla Pila, es un campo generado automáticamente
		idTipoPila (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Pila.
		idMaterial (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla

				Material.
		idSubestructura (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Subestructura.
		nombrePila	Varchar(25)	Almacena el nombre de la pila.
		alturaPila	Float	Almacena la altura de la pila.
		anchoPila	Float	Almacena el ancho de la pila.
	espesorPila	Float	Almacena el espesor de la pila.	
	TipoPila	idTipoPila (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Pila, es un campo generado automáticamente
		nombreTipoPila	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de pila.
Elementos no estructurales del puente	ElementosNoEstructurales	idElementosNoEstructurales (PK)	Int	Identificador de la tabla Elementos no Estructurales, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		observacion	Varchar(255)	Almacena algún comentario u observación general que se le realice los elementos no estructurales.
		CantidadGeneral	Int	Almacena la cantidad total de elementos no estructurales.
	TipoElementosNoEstructurales	idTipoElementosNoEstructurales (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Elementos no estructurales, es un campo generado automáticamente
		tipoElementoNE	Varchar(25)	
	Pavimento	idPavimento (PK)	Int	Identificador de la tabla Pavimento, es un campo generado automáticamente
		idElementosNoEstructurales (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Elementos no Estructurales.
		pavimentoOriginal	Int	Almacena el espesor del pavimento original.
		pavimentoSobreCapa	Int	Almacena la sobrecapa que presenta el pavimento.
	JuntasExpansion	idJuntasExpansion (PK)	Int	Identificador de la tabla Juntas de Expansión, es un campo generado automáticamente
		idElementosNoEstructurales (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Elementos no Estructurales.
		idTipoJuntasExpansion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Cantón.
		nombreJuntaExpansion	Varchar(50)	Almacena el nombre de la junta de expansión.
		desplazamiento	Float	Almacena el desplazamiento.
	TipoJuntasExpansion	idTipoJuntasExpansion	Int	Identificador de la tabla Tipo de Juntas de Expansión, es un campo generado automáticamente
		nombreTipoJunta	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de junta de expansión.
	Usuarios	Usuario	idUsuario (PK)	Bigint

				automáticamente
		idTipoUsuario (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Usuario.
		nombre	Varchar(25)	Almacena el nombre del usuario que se registra en el sistema.
		apellido1	Varchar(25)	Almacena el primer apellido del usuario que se registra en el sistema.
		apellido2	Varchar(25)	Almacena el segundo apellido del usuario que se registra en el sistema.
		identificador	Bigint	Almacena el identificador del usuario que se registra en el sistema. (cédula de identidad o pasaporte)
		clave	Varchar(25)	Almacena la clave del usuario que se registra en el sistema.
		email	Varchar(50)	Almacena correo electrónico del usuario que se registra en el sistema.
		telefono	Bigint	Almacena el teléfono del usuario que se registra en el sistema.
		estado	Varchar(10)	Almacena el estado en el que se encuentra el usuario, corresponde a un campo lógico (disponible, deshabilitado).
	TipoUsuario	idTipoUsuario (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Usuario, es un campo generado automáticamente
		nombreTipo	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de usuario.
<b>Modelo Estructural</b>	GeneralidadesModelo	idGeneralidadesModelo (PK)	Int	Identificador de la tabla Generalidades del Modelo, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		metodologiaRevision	Varchar(50)	Almacena la metodología de revisión para el puente.
	GeneralidadesXTipoCarga	idGeneralidadesModelo (PK)	Int	Identificador de la tabla Generalidades del Modelo.
		idTipoCargaPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Carga.
	TipoCargaPrueba	idTipoCargaPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Carga, es un campo generado automáticamente
		idCondicionesCarga (FK)		Almacena el identificador de la tabla Condiciones de Carga.
		tipoCargaCarril	Varchar(25)	Almacena el tipo de carga del carril.
		valorCarga	Float	Almacena el valor de la carga del carril.
	CondicionesCarga	idCondicionesCarga (PK)	Int	Identificador de la tabla Condiciones de Carga, es un campo generado automáticamente.
tipoConfiguracion		Varchar(25)	Almacena el tipo de configuración para las condiciones de carga.	

ResultadosModelo	idResultadosModelo (PK)	Int	Identificador de la tabla Resultados del Modelo, es un campo generado automáticamente
	idTipoModelo (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Modelo.
	idGeneralidadesModelo (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Generalidades del Modelo.
	elementoEstructural	Int	Almacena el identificador correspondiente al elemento estructural.
TipoModelo	idTipoModelo (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Modelo, es un campo generado automáticamente
	tipoModelo	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de modelo.
CargasObtenidas	idCargasObtenidas (PK)	Int	Identificador de la tabla Cargas Obtenidas, es un campo generado automáticamente
	idResultadosModelo (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Resultados del Modelo.
	momento	Float	Almacena el momento.
	cortante	Float	Almacena la cortante.
	axial	Float	Almacena la axial.
	deformacion	Float	Almacena la deformación.
Prueba	idPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Prueba, es un campo generado automáticamente
	idTipoPrueba (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Prueba.
	idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
	nombreGeneral	Varchar(50)	Almacena el nombre para la prueba.
	objetivoPrueba	Varchar(255)	Almacena el objetivo que pretende alcanzar la prueba.
TipoPrueba	idTipoPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Prueba, es un campo generado automáticamente
	tipoPrueba	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de prueba.
ListaPrueba	idListaPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista de Prueba, es un campo generado automáticamente
	idMaterialPrueba (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Material Prueba.
	idPrueba (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Prueba.
	elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elemento estructural para la prueba.
	nombrePrueba	Varchar(25)	Almacena el nombre de la prueba específica para el elemento.
	noMuestra	Int	Almacena el número de la muestra.

		descripcion	Varchar(255)	Almacena la descripción para la prueba.
	MaterialPrueba	idMaterialPrueba (PK)	Int	Identificador de la tabla Material, es un campo generado automáticamente
		materialPrueba	Varchar(25)	Almacena el tipo de material para la prueba.
	Resultados	idResultados (PK)	Int	Identificador de la tabla Resultados, es un campo generado automáticamente
		idListaPrueba (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Lista de Prueba.
		valorPrueba	Float	Almacena el valor resultante de la prueba.
<b>Modelo Confiabilidad</b>	Ecuacion	idEcuacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Ecuación, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Puente.
		nombreEcuacion	Varchar(25)	Almacena el nombre para identificar la ecuación.
	ListaResultadosEcuacion	idListaResultadosEcuacion (PK)	Int	Identificador de la tabla Lista de Resultados de la Ecuación, es un campo generado automáticamente
		idEcuacion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Ecuación.
		valorResultado	Float	Almacena el valor resultante al aplicar la ecuación.
	CurvaPrediccion	idCurvaPrediccion (PK)	Int	Identificador de la tabla Curva de Predicción, es un campo generado automáticamente
		idEcuacion (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Ecuación.
		curvaPrediccion	Float	Almacena la curva de predicción.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
		fecha	Date	Almacena la fecha.
		indiceConfiabilidad	Float	Almacena el índice de confiabilidad
	ConfiguracionSensores	idSensores (PK)	Int	Identificador de la tabla Configuración de Sensores, es un campo generado automáticamente
		idPuente (FK)	Bigint	Almacena el identificador de la tabla Cantón.
		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores.
	Crackmeter4420VW	id4420VWCrackmeter (PK)	Int	Identificador de la tabla Crackmeter4420VW, es un campo generado automáticamente
		idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
		idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
nombreSensor		Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.	

		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
Resultados4420		idResultados4420 (PK)	Int	Identificador de la tabla Resultados4420, es un campo generado automáticamente
		id4420VWCrackmeter (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Crackmeter4420VW.
		elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elementos estructural donde esta ubicado el sensor.
		desplazamiento	Float	Almacena el desplazamiento el elemento.
		nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
		voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
		fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco
		idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.
Resumen4420		idResumen4420 (PK)	Int	Identificador de la tabla Resumen 4420, es un campo generado automáticamente
		id4420VWCrackmeter (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Crackmeter4420VW.
		desplazamientoResumen	Float	Almacena un resumen del valor de desplazamiento.
		fch_inicial	Date	Almacena la fecha inicial del resumen.
		fch_final	Date	Almacena la fecha final del resumen
SR50A		idSR50A (PK)	Int	Identificador de la tabla SR50A, es un campo generado automáticamente
		idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
		idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
		nombreSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.
		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
ResultadosSR		idResultadosSR (PK)	Int	Identificador de la tabla ResultadosSR, es un campo generado automáticamente
		idSR50A (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla SR50A.
		elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elementos estructural donde esta ubicado el sensor.
		nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
		voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
		fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco.
	distancia	Float	Almacena la distancia de desplazamiento.	

		idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.
ResumenSR		idResumenSR (PK)	Int	Identificador de la tabla ResumenSR, es un campo generado automáticamente
		idSR50A (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla SR50A.
		distanciaTotal	Float	Almacena la distancia total de desplazamiento.
		tiempoTotal	Varchar (10)	Almacena el tiempo total.
		fch_inicial	Date	Almacena la fecha inicial del resumen.
		fch_final	Date	Almacena la fecha final del resumen
	GPS16XHVS		idGPS16XHVS (PK)	Int
		idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
		idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
		nombreSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.
		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
ResultadoGPS		idResultadoGPS (PK)	Int	Identificador de la tabla ResultadoGPS, es un campo generado automáticamente
		idGPS16XHVS (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla GPS16XHVS.
		elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elemento estructural donde esta ubicado el sensor.
		nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
		voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
		fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco.
		latGrados	Float	Almacena la latitud en grados.
		latMinutos	Float	Almacena la latitud en minutos.
		latSegundos	Float	Almacena la latitud en segundos.
		longGrados	Float	Almacena la longitud en grados.
		longMinutos	Float	Almacena la longitud en minutos.
		longSegundos	Float	Almacena la longitud en segundos.
		idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.
ResumenGPS		idResumenGPS (PK)	Int	Identificador de la tabla ResumenGPS, es un campo generado automáticamente
		idGPS16XHVS (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla GPS16XHVS.
		ywgs84Latitud	Float	Almacena la latitud en formato wgs84.
		xwgs84Longitud	Float	Almacena la Longitud en formato

			wgs84.
	fch_inicial	Date	Almacena la fecha inicial del resumen.
	fch_final	Date	Almacena la fecha final del resumen
Termocupla	idTermocupla (PK)	Int	Identificador de la tabla Termocupla, es un campo generado automáticamente
	idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
	idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
	nombreSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.
	cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
ResultadosTC	idResultadosTC (PK)	Int	Identificador de la tabla ResultadosTC, es un campo generado automáticamente
	idTermocupla (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Termocupla.
	elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elemento estructural donde esta ubicado el sensor.
	nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
	tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
	voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
	fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco.
	temperaturaPanel	Float	Almacena la temperatura del panel.
	temperaturaAmbiente	Float	Almacena la temperatura del ambiente.
idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.	
ResumenTC	idResumenTC (PK)	Int	Identificador de la tabla ResumenTC, es un campo generado automáticamente
	idTermocupla (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Termocupla.
	promedioTemperaturaPanel	Float	Almacena el promedio de la temperatura del panel
	promedioTemperaturaAmbiente	Float	Almacena el promedio de la temperatura del ambiente.
	fch_inicial	Date	Almacena la fecha inicial del resumen.
	fch_final	Date	Almacena la fecha final del resumen
ST350StrainGage	idST350StrainGage (PK)		Identificador de la tabla ST350StrainGage, es un campo generado automáticamente
	idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
	idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
	nombreSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.



		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
ResultadosST		idResultadosST (PK)	Int	Identificador de la tabla ResultadosST, es un campo generado automáticamente
		idST350StrainGage (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla ST350StrainGage.
		elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elemento estructural donde esta ubicado el sensor.
		nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.
		voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
		fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco.
		muestraSensor	Float	Almacena la muestra tomada por el sensor.
		deformacion	Float	Almacena la deformación.
		idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.
	ResumenST		idResumenST (PK)	Int
		idST350StrainGage (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla ST350StrainGage.
		momento	Float	Almacena el momento.
		cortante	Float	Almacena la cortante.
		axial	Float	Almacena la axial.
		deformacion	Float	Almacena la deformación.
		fch_inicial	Date	Almacena la fecha inicial del resumen.
	fch_final	Date	Almacena la fecha final del resumen	
Acelerometro		idAcelerometro (PK)	Int	Identificador de la tabla Acelerometro, es un campo generado automáticamente
		idSensores (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Configuración de Sensores.
		idTipoSensor (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Sensor.
		nombreSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del sensor.
		cantidad	Int	Almacena la cantidad de sensores utilizados de este tipo.
ResultadosA		idResultadosA (PK)	Int	Identificador de la tabla ResultadosA, es un campo generado automáticamente
		idAcelerometro (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Acelerómetro.
		elementoEstructural	Int	Almacena el identificador del elemento estructural donde esta ubicado el sensor.
		nMuestra	Int	Almacena el número de muestra.
		tiempo	Varchar(10)	Almacena el tiempo.

		voltajeBateria	Float	Almacena el voltaje de la batería.
		fecha	Date	Almacena la fecha en la que se coloco.
		aceleracionX	Float	Almacena la aceleración con respecto a X.
		aceleracionY	Float	Almacena la aceleración con respecto a Y.
		aceleracionZ	Float	Almacena la aceleración con respecto a Z.
		idNodo	Int	Almacena un identificador del nodo.
	ResumenA	idResumenA (PK)	Int	Identificador de la tabla ResumenA, es un campo generado automáticamente
		idAcelerometro (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Acelerometro.
		promedioX	Float	Almacena la aceleración promedio con respecto a X.
		promedioY	Float	Almacena la aceleración promedio con respecto a X.
		promedioZ	Float	Almacena la aceleración promedio con respecto a X.
		vectorResultante	Float	Almacena la aceleración promedio con respecto a X.
	TipoSensor	idTipoSensor (PK)	Int	Identificador de la tabla Tipo de Sensor, es un campo generado automáticamente
		nombretipoSensor	Varchar(25)	Almacena el nombre del tipo de sensor.
	Bitacora	idBitacora (PK)	Int	Identificador de la tabla Bitácora, es un campo generado automáticamente
		idTipoEvento (FK)	Int	Almacena el identificador de la tabla Tipo de Evento.
		nombreTabla	Varchar(50)	Almacena el nombre de la tabla que presenta el cambio.
		eventoInfo	Varchar(255)	Almacena información acerca del evento que se realizo.
		usuario	Bigint	Almacena el identificador del usuario que realiza la acción.
		fch_evento	Date	Almacena la fecha del evento.
		estado	Varchar(25)	Almacena el estado del evento.
	TipoEvento	idTipoEvento	Int	Identificador de la tabla Tipo de Evento, es un campo generado automáticamente
		nombreTipoEvento	Varchar(50)	Almacena el nombre del tipo de evento.



Esquema de la base de datos  
Prototipo puede revisarse en Laboratorio de Monitoreo de Estructuras CIVCO

## **Anexo 7. Protocolo de pruebas de carga.**



# Pruebas carga

Puente sobre el Río Purires - 05.10.12 y 06.10.12

Proyecto de investigación eBridge / Programa de investigación eScience

ebridge



Protocolo entregado a:

# Referencias de propiedad

El protocolo que se detalla a continuación es propiedad del Tecnológico de Costa Rica y es producto del proyecto de investigación eBridge.

Se ha tomado como referencia lo establecido en el “Manual de evaluación de puentes, segunda edición 2011”, de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Informe de la Cooperación Japonesa JICA “Estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica”.

## Participantes en la prueba

Las pruebas se realizarán por los integrantes del proyecto de investigación eBridge y la colaboración de otras instituciones y departamentos del TEC.

Identificación documento	Nombre	Rol	Responsabilidades durante la prueba	Horario
GIO	Giannina Ortiz	Profesor	Coordinación general Instalación sensores Desmontaje equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 02:00 - 06:00
JOC	Johan Carvajal	Profesor	Coordinación área electrónica Supervisión en toma de datos Desmontaje equipos	V05. 08:00 - 14:00 V05. 18:00 - 22:00 S06. 10:00 - 13:00
CAS	Casia Soto	Profesor	Coordinación logística Instalaciones apoyo Atención invitados	V05. 04:00 - 16:00
HUN	Hugo Navarro	Profesor	Supervisión estructural	V05. 08:00 - 11:00
GEF	Geovanny Figueroa	Profesor	Supervisión	S06. 10:00 - 13:00
JUC	Juan Diego Chacón	Estudiante	Sistema de conteo vehicular	V05. 08:00 - 14:00 V05. 18:00 - 24:00 S06. 00:00 - 02:00
JAC	José Alberto Chacón	Estudiante	Sistema de conteo vehicular	V05. 08:00 - 14:00 V05. 18:00 - 24:00 S06. 00:00 - 02:00
ALF	Alberto Fernández	Estudiante	Sistema de conteo vehicular	V05. 08:00 - 18:00
PEC	Pedro Cuadra	Estudiante	Medición de vibraciones	V05. 08:00 - 14:00 S06. 02:00 - 06:00
OCA	Osvaldo Casares	Estudiante	Mediciones con CR1000	V05. 04:00 - 14:00 S06. 06:00 - 10:00
OCU	Osvaldo Cubero	Estudiante	Logística de cargas en pruebas	V05. 04:00 - 18:00 S06. 10:00 - 13:00
KAV	Katherine Vargas	Estudiante	Logística de cargas en pruebas	V05. 04:00 - 14:00 S06. 06:00 - 10:00
JES	Jesús Santamaría	Estudiante	Apoyo a la logística general e instalaciones	V05. 04:00 - 14:00 S06. 10:00 - 13:00

			apoyo	
DAV	Daniel Vargas	Estudiante	Apoyo a la logística general e instalaciones apoyo	V05. 04:00 - 14:00
JOA	José Antonio Chavarría	Estudiante	Documentación proceso	V05. 04:00 - 14:00
EDA	Eduardo Arce	Técnico CIVCO	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00
JOS	Joaquin Solano Rivera	Técnico AM	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 11:00 - 13:00
EFO	Efrain Obando Redondo	Técnico AM	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 11:00 - 13:00
MAS	Mauricio Sandoval Molina	Técnico AM	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 11:00 - 13:00
EWA	Edwin Arce Mena	Técnico AM	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 11:00 - 13:00
CAR	Carlos Sojo Picado	Técnico AM	Instalación equipos	V05. 04:00 - 14:00 S06. 11:00 - 13:00

**Tabla 1.** Lista de participantes en la prueba de carga y roles

# 1. Generalidades

El puente en análisis denominado “Purires”, se ubica en la ruta nacional número 2, en las coordenadas 9°50’2.98” (latitud) y -83°57’5.43” (longitud). Es un puente de vigas continuas de acero W27X94, de 39.45m de longitud total y distancia promedio entre apoyos menor a 15 m, cuenta con 4 puntos de apoyo. Posee una losa de concreto de 15 cm de espesor con refuerzo de acero #6 cada 15 cm de forma transversal y cada 25 cm longitudinalmente y una sobre capa de asfalto que varía entre 14 y 7 cm de espesor. Posee dos carriles y doble vía y el promedio diario de vehículos es de 11318, el ancho de de la superficie de ruedo es de 6.6m y cuenta con aceras de 1.5m. La distancia libre desde el río tiene un promedio de 5m. La fecha de construcción de dicho puentes se estima en los años 50’s, pero se desconoce la fecha exacta.



**Figura 1.** Vista aérea del puente sobre Río Purires (fuente Google Earth)

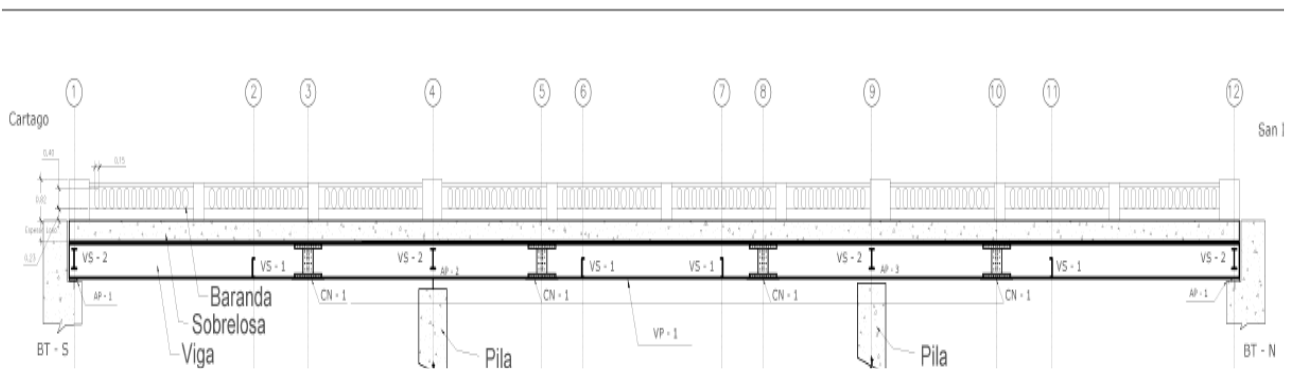
Este puente es administrado por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), ya que es ruta nacional. El ingeniero encargado del mantenimiento de esa ruta es Pablo Camacho.

Por otra parte el ente Rector Nacional de las estructuras de puentes en Costa Rica es el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Director del Departamento de Puentes es el Ing. Mario Loría.

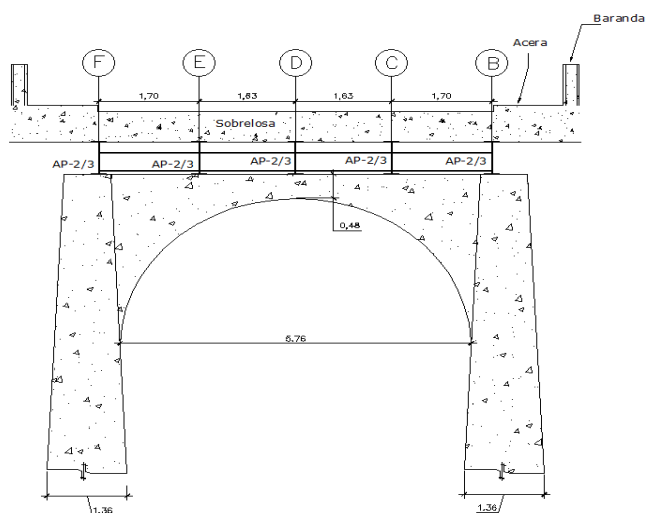




**Figura 2.** Fotografía lateral del puente sobre Río Purires (fuente propia)



**Figura 3.** Vista lateral del puente sobre Río Purires (fuente propia)



**Figura 4.** Corte transversal del puente sobre Río Purires (fuente propia)

Características generales del puente en estudio:

<b>Características Generales del Puente</b>	
Fecha aproximada de Construcción	1950
Dirección de la vías	Ambos sentidos
Longitud Total	39,45 m
Ancho Total	9,6 m
Ancho Superficie de Ruedo	6,6 m
N° Superestructuras	1
N° Tramos	3
N° Sub Estructura	4
Tipos de Juntas de Expansión	Abiertas
Pilas y Bastiones	Concreto
Tipo de Apoyos	Fijos y Expansivos
Composición Estructural	Vigas Principales y diafragmas de acero, con tablero de concreto reforzado
Configuración Estructural	Vigas continuas

**Tabla 2.** Características generales del puente en estudio

## 2. Objetivos de la prueba

Una prueba de carga es la medición de la respuesta de una estructura de un puente sujeto a cargas conocidas y controladas sin que se causen cambios en la respuesta elástica de la misma. En este caso se realizarán pruebas de diagnóstico no destructivas,

Los resultados de esta prueba ayudaran a comprender el comportamiento del puente, reduciendo la incertidumbre provocada por las propiedades de los materiales, condiciones de apoyo, contribuciones de la sección transversal, efectividad de las reparaciones e intervenciones previas e influencia del estado de daño o deterioro.

### 2.1. Objetivos específicos:

2.1.1. Comparar el comportamiento estructural del puente entre el modelo teórico con los resultados de las pruebas de carga.

2.1.2. Determinar las deformaciones, desplazamientos en juntas, desplazamientos verticales en vigas y aceleraciones asociadas a las cargas dadas.

2.1.3. Establecer la capacidad del puente con los datos obtenidos.

2.1.4. Revisar las condiciones estructurales y de servicio del puente.

### 3. Instalaciones de apoyo

Estas instalaciones son provisionales y necesarias para la ejecución de las pruebas. Incluye todo el equipo de apoyo a las diferentes pruebas.

#### 3.1. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	2	Generadores electricidad	TEC (AM) - ICE	
	3	Escaleras extendibles	TEC (AM)	
	1	Toldo	ASETEC	
	1	Pala	TEC - CIVCO	
	1	Rastrillo	TEC - CIVCO	
	5	Extensiones	TEC - eBridge	
	5	Regletas	TEC - eBridge	
	5	Bolsas de basura jardín	TEC - eBridge	
	3	Pares de guantes	TEC - eBridge	
	5	Lijas	TEC - eBridge	
	1	Agua para lavar manos	TEC - eBridge	
	1	Cámara fotográfica	TEC - eBridge	Responsable manejo JOA
	4	Sillas	TEC - eBridge	
	1	Mesa	TEC - eBridge	

**Tabla 4.** Equipo y herramientas generales

#### 3.2. Diseño del sitio de trabajo

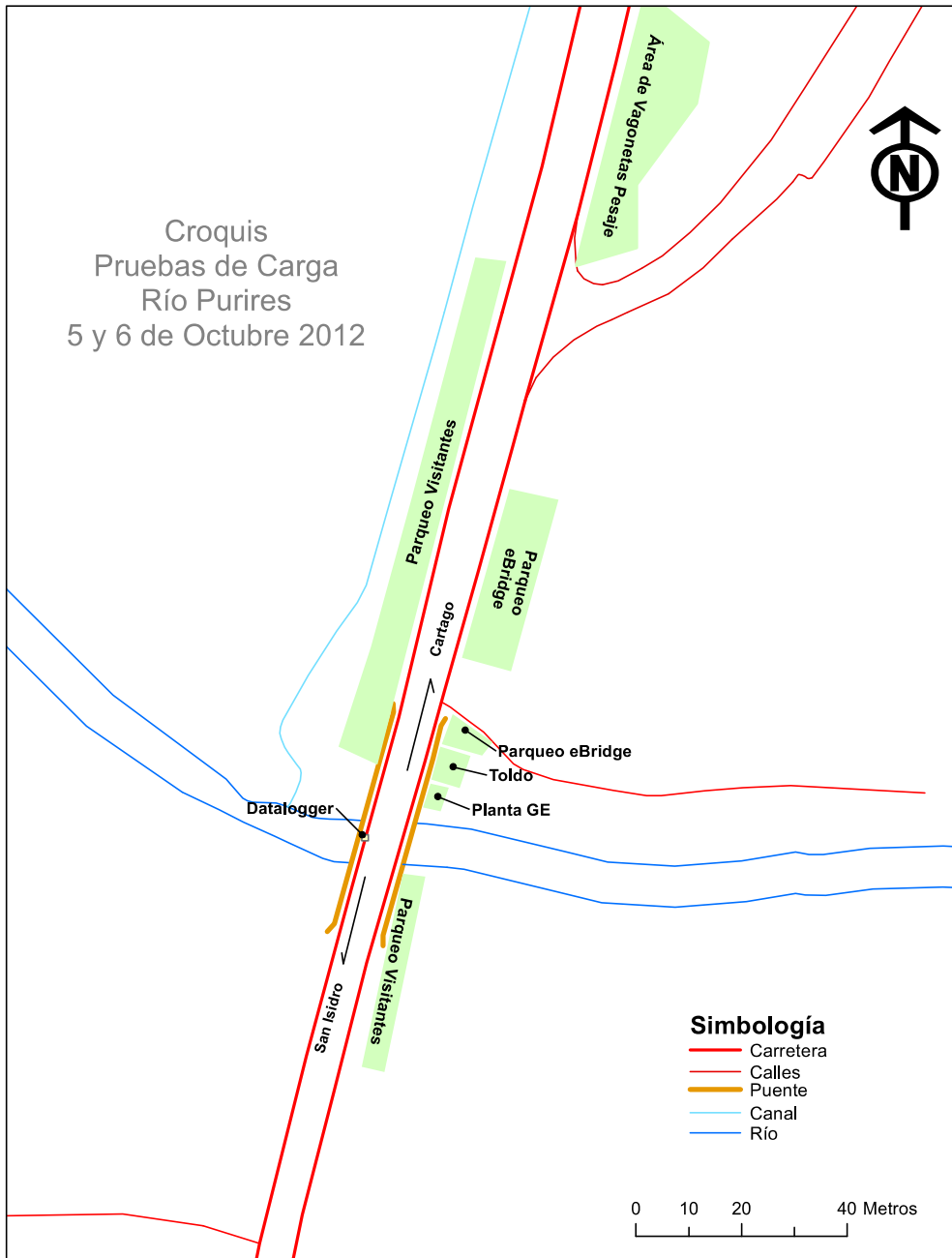


Figura 5. Mapa diseño de sitio de trabajo

### 3.3. Programa de actividades y responsables

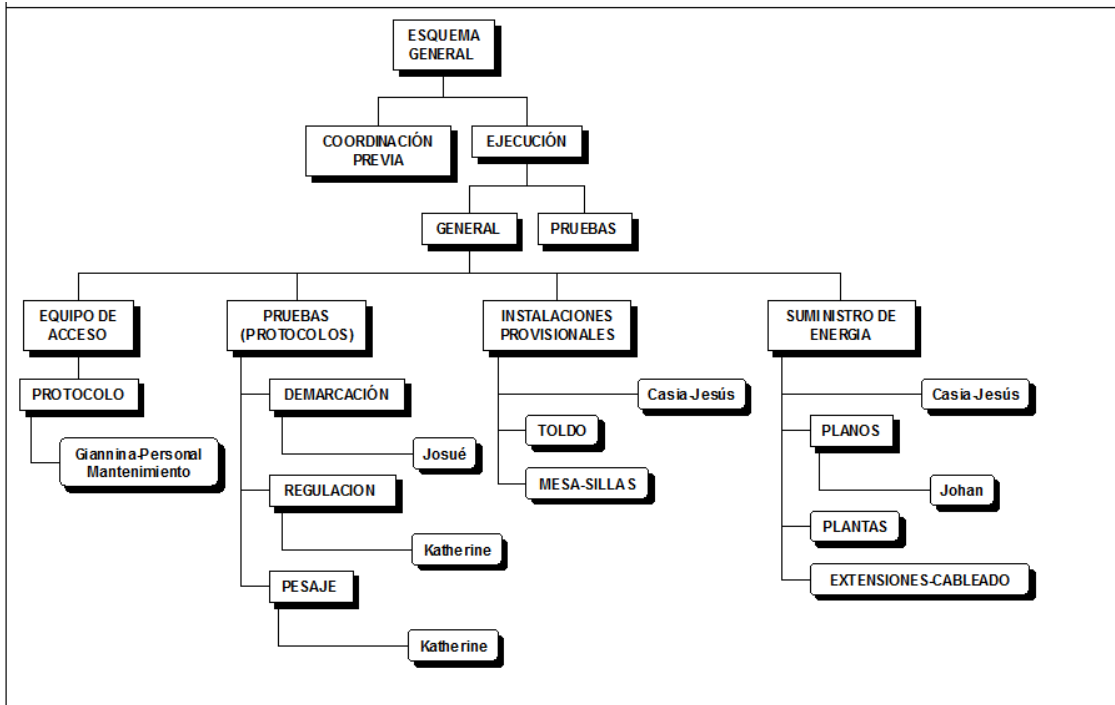


Figura 6. Esquema general de las pruebas

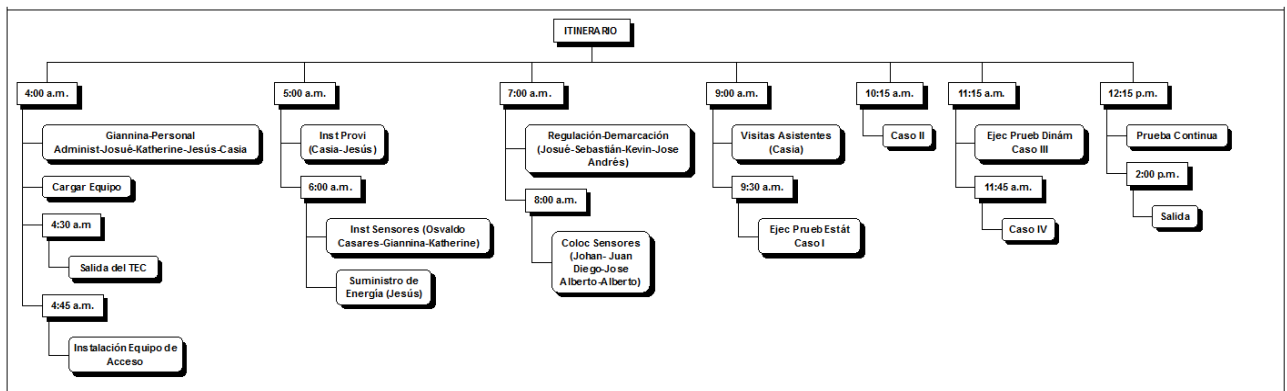


Figura 7. Itinerario general de las pruebas

### 3.4. Lista de actividades generales de la prueba

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
V 05.	04:00	Carga de equipo para prueba/CIVCO	GIO	
V 05.	04:15	Salida del TEC	GIO - CAR - EDA	Deben salir 3 vehículos, Pickup CIVCO, Pickup Docencia y Administración Mantenimiento
V 05.	04:30	Llegada al puente y descarga equipo	GIO - CAR	
V 05.	04:30	Montaje de equipo acceso bajo claro central puente	CAR - EDA	Instalación escaleras, andamios, tablonos
V 05.	05:00	Instalación de campamento	CAS	
V 05.	05:00	Instalación electricidad	JES	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	
V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	KAV	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA EDA	
V 05.	07:00	Llegada del resto del equipo trabajo	JOC	
V 05.	07:15	Instalación sensores vibración	PEC	
V 05.	07:15	Instalación sistema de conteo vehicular	JUC - JOA - ALF	
V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento vibración	PEC	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento conteo vehicular	JUC - JOA - ALF	
V 05.	09:00	Llegada de invitados	CAS	
V 05.	09:00	Coordinación protocolo cierre vía	Tránsito	
V 05.	09:00	Coordinación camiones	OCU - KAV	
V 05.	09:15	Charla explicativa	GIO - JOC	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	

V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinamicas	OCA	
V 05.	11:15	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:15	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:15	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:15	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 05.	14:00	Regreso equipo de trabajo al TEC	GIO	
V 06.	12:15	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:15	Desmontaje todo equipo	JOC	

**Tabla 5.** Lista de actividades generales



## 4. Esquema general de prueba

Las pruebas de cargas que se realizarán se detallan a continuación:

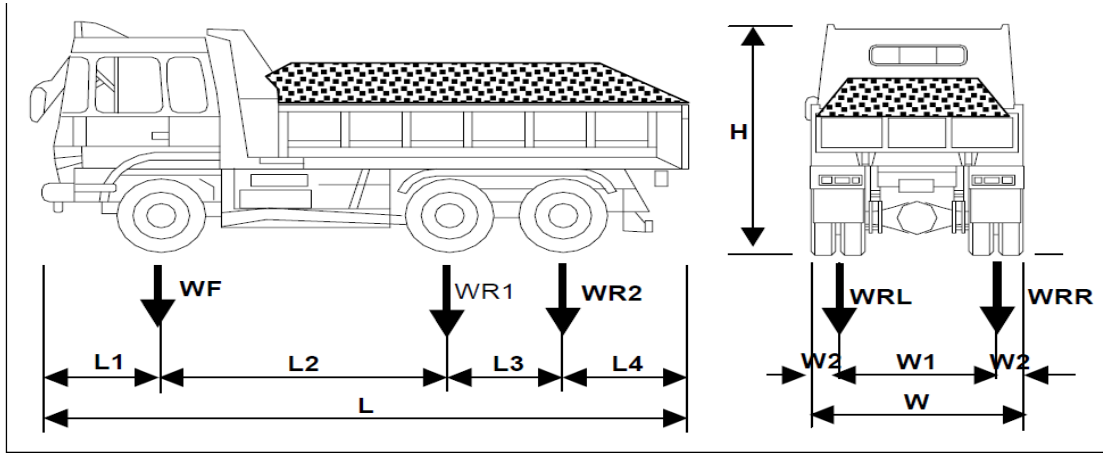
Tipo de prueba	Variables a medir	Casos de carga	Duración prueba	Hora aproximada
Estática	Deformación, desplazamiento, deflexión	Caso I y II	30 min cada una	09:30
Dinámica	Deformación, aceleración	Caso III y IV	10 min cada una	11:00
	Deformación, aceleración y tránsito	Caso V	24 horas	12:00

**Tabla 6.** Características de las cargas vivas a utilizar

Para los casos I, II, III y IV se requiere el cierre total de la vía.

## 5. Definición de la carga

Para la realización de las pruebas estáticas y dinámicas, se utilizará la siguiente carga viva:



**Figura 8.** Dimensiones y peso de la carga viva

Vagoneta			1	2
Dimensiones (cm)	Placa N°			
	Longitud	L		
		L1		
		L2		
		L3		
	Ancho	W		
W1				
W2				
Pesos (ton)	Llantas Delanteras	Izquierda		
		Derecha		
		Total		
	Llantas Traseras 1	Izquierda		
		Derecha		
Llantas Traseras 2	Izquierda			
	Derecha			
Total				

**Tabla 7.** Características de las cargas vivas a utilizar

## 5.1. Medición de la carga en sitio

Determinar el peso exacto en cada eje de las vagonetas por utilizar antes de ejecutar las pruebas.

a. Metodología:

Coordinar el paso de las vagonetas por la Estación de Pesaje Móvil, proporcionada por la empresa OCONY, esta se ubicará en el sitio indicado en el puente, para las estimaciones de peso necesarias. Estas serán pesadas la misma mañana que se realizan las pruebas.

Colocar el eje 1 de la vagoneta sobre las básculas de pesaje.

Tomar la lectura del peso.



**Figura 9.** Determinación del Peso para el Eje 1

Esto se debe repetir para cada eje.

## 5.2. Sensores a utilizar

Tipo prueba	Caso carga	Variable a medir	Sensor seleccionado	Cantidad
Estática	Caso I	deformación	ST350 strain gages	9
		desplazamiento	4440 Crackmeter	3
		deflexión	SR50A ultrasonic	3
	Caso II	deformación	ST350 strain gages	9
		desplazamiento	4440 Crackmeter	3
		deflexión	SR50A ultrasonic	3
Dinámica	Caso III	vibración	acelerómetro Waspmote	5
		deformación	ST350 strain gages	8
	Caso IV	vibración	acelerómetro Waspmote	5
		deformación	ST350 strain gages	8
	Caso V	vibración	acelerómetro Waspmote	5
		deformación	ST350 strain gages	8
		conteo vehicular	M-GAGE S18M	1

**Tabla 8.** Detalle de sensores a utilizar por prueba

## 6. Protocolo de seguridad

El objetivo de este protocolo es identificar las actividades de mayor riesgo durante la preparación y ejecución de la prueba y las medidas de seguridad a tomar.

### 6.1. Equipo requerido

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	1	Luces emergencia	TEC (AM)	
	1	Foco mano	TEC - eBridge	
	4	Focos minero	TEC - eBridge	
	4	Cascos	TEC - eBridge	
	8	Conos	TEC - eBridge	
	2	Radios	TEC - CIVCO	
	5	Pares botas de hule	TEC - eBridge	
	1	Toallas de cloro	TEC - eBridge	
	20	Cascos de seguridad	TEC - CIVCO	
	20	Chalecos reflectivos	TEC - eBridge	
	10	Anteojos seguridad	TEC - eBridge	
	2	Arnés	TEC (AM)	
	4	Barreras de seguridad	TEC (AM)	
	6	Rótulos de señalización	TEC - eBridge	

**Tabla 9.** Equipo de seguridad requerido

Toda persona presente el sitio debe utilizar el equipo de seguridad básico, el cual consiste en casco, chaleco reflectivo, calzado adecuado.

Los miembros del equipo de pruebas deben portar identificación visible.

En el caso de los visitantes y observadores, deben de seguir las indicaciones del encargado general de la prueba.

No se permitirá la presencia de personal no autorizado en el área de ejecución de pruebas.

## 6.2. Identificación de riesgos y medidas de mitigación

Actividad	Riesgo	Medida mitigación
Instalación de escaleras y equipo de acceso	Alto	Uso de líneas de vida y arneses Equipo de protección para el río
Instalación sensores ST350	Alto	Uso de líneas de vida y arneses Equipo de protección para el río
Ejecución de pruebas controladas	Alto	Uso de equipo y protocolo movimiento de vagonetas
Ejecución prueba de 24 horas	Alto	Presencia de policía guardia rural

**Tabla 10.** Equipo de seguridad requerido

## 6.3. Medidas en caso de emergencias

*Presencia de vehículo de emergencia durante el cierre total de la vía:* En caso de presentarse urgencia de paso de un vehículo de emergencia durante la ejecución de la prueba, la prueba se suspenderá y se dará prioridad de paso al vehículo; posteriormente se repetirá la prueba.

*Terremoto:* En caso de presentarse un terremoto, las labores que se están realizando se suspenden y las personas deben dirigirse en forma ordenada al sitio de reunión identificado. Los oficiales a cargo de detener el tránsito darán la instrucción de detenerse. La decisión de continuar con las pruebas será tomada por la coordinación dependiendo del nivel de daño del evento.

*Avalancha:* En caso de presentarse una avalancha, las labores que se están realizando se suspenden y las personas encargadas de la seguridad deben verificar que los trabajadores que se encuentren en el margen del río estén seguros. La decisión de continuar con las pruebas será tomada por la coordinación dependiendo del nivel de daño del evento.

*Incendio:* En caso de presentarse un incendio, las labores que se están realizando se suspenden y las personas deben dirigirse en forma ordenada al sitio de reunión identificado. Los oficiales a cargo de detener el tránsito darán la

instrucción de detenerse. La decisión de continuar con las pruebas será tomada por la coordinación dependiendo del nivel de daño del evento.

Números en caso de emergencia:

Giannina Ortiz Quesada - Responsable prueba - (506) 8921-6315

Emergencias - 911

## 7. Protocolo de demarcación

Determinar las zonas de carga sobre el puente, para la ejecución de las pruebas estáticas y dinámicas.

### 7.1. Equipo requerido

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	5	Aerosol	TEC - eBridge	
	2	Cinta	TEC - CIVCO	
	4	Chalecos	TEC - eBridge	
	4	Cascos	TEC - eBridge	
	8	Conos	TEC - eBridge	
	2	Radios	TEC - CIVCO	
	1	Planos de carga	TEC - eBridge	
	2	Protocolos de Carga	TEC - eBridge	

**Tabla 11.** Equipo requerido para la demarcación de las vías

### 7.2. Itinerario de demarcación

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
V 05.	13:45	Explicación de Procedimientos de demarcación.	OCU	
V 05.	14:00	Cierre de vías sentido Cartago - San Isidro	OCU	
V 05.	14:05	Demarcación sentido Cartago - San Isidro. Casos I y Caso III	OCU	



V 05.	14:25	Apertura Carril Cartago - San Isidro	OCU	
V 05.	14:35	Cierre de vías sentido San Isidro - Cartago	OCU	
V 05.	14:40	Demarcación sentido San Isidro - Cartago. Casos I, Caso II, Caso III	OCU	
V 05.	15:00	Apertura del carril.	OCU	

**Tabla 12.** Itinerario para la demarcación de las vías

## 7.3. Metodología de demarcación

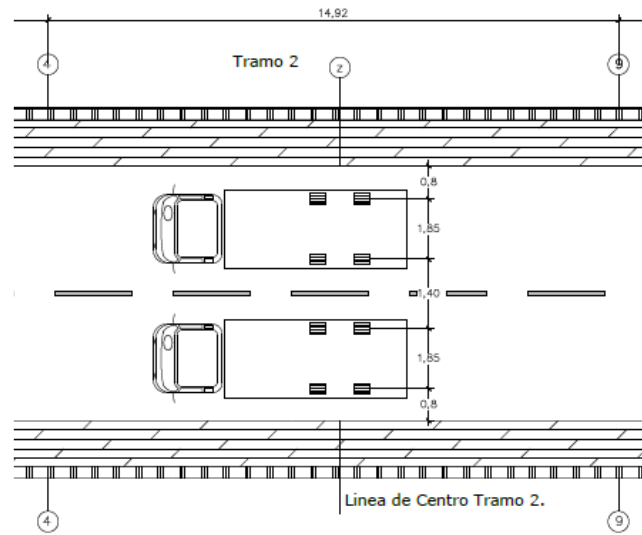
### 7.3.1 Demarcación carril sentido Cartago - San Isidro

*Cierre carril Cartago - San Isidro:* Se cierra el carril Cartago - San Isidro, según se ejemplifica en la figura , se colocan conos en cada extremo del puente. Dos oficiales de tránsito regularán el paso de los vehículos sobre el carril que se encuentre habilitado.



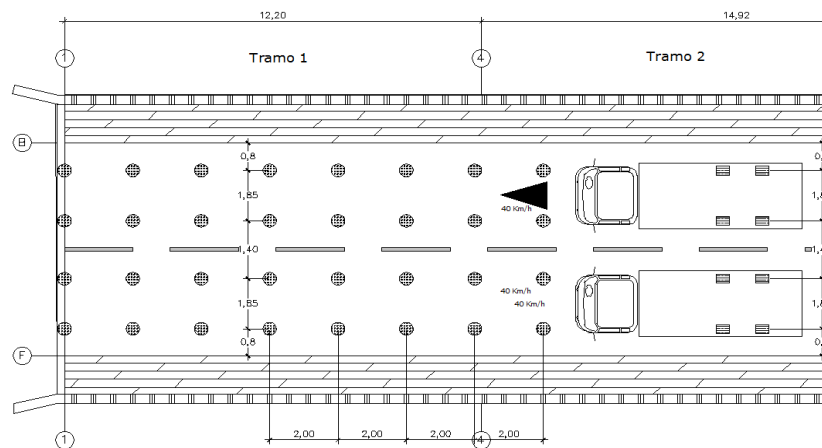
**Figura 10.** Esquema de cierre parcial para demarcación de vías

*Demarcación del carril:* Se pinta sobre el pavimento las zonas de ubicación para las llantas del camión, de acuerdo con las especificaciones del plano en lámina 5 acerca del Caso de Carga I (Prueba Estática).



**Figura 11.** Esquema de caso de carga I

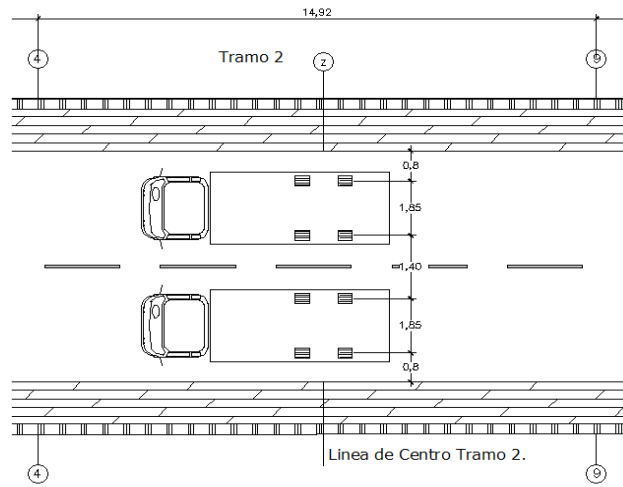
Seguidamente se demarca el Caso III (Prueba Dinámica), como se indica en planos, lámina 7. Las marcas van alineadas cada dos metros, para coordinar el movimiento y asegurar el recorrido.



**Figura 12.** Esquema de caso de carga III

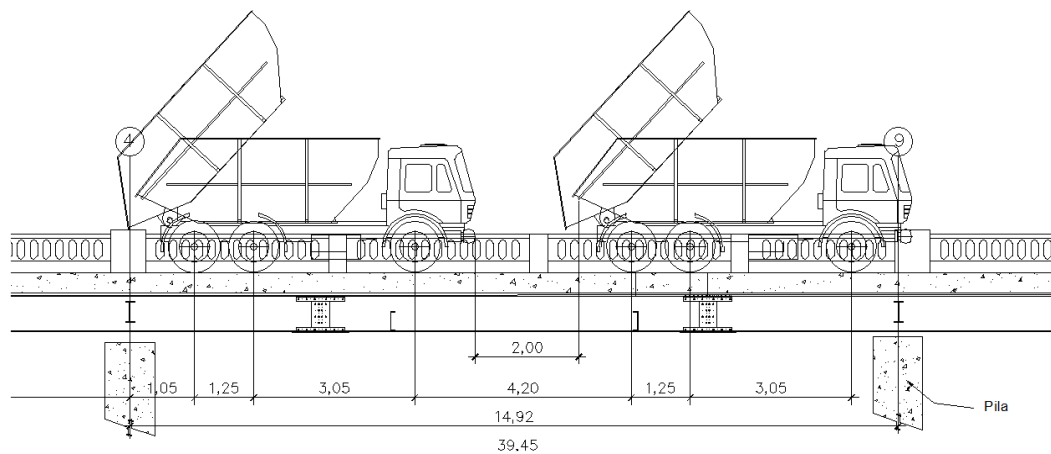
### 7.3.1. Demarcación carril sentido San Isidro - Cartago

*Cierre del carril:* Se cierra el carril y se colocan conos en los extremos del puente y en la zona de trabajo para garantizar la seguridad de los trabajadores. Los oficiales de tránsito regulan el paso de vehículos.



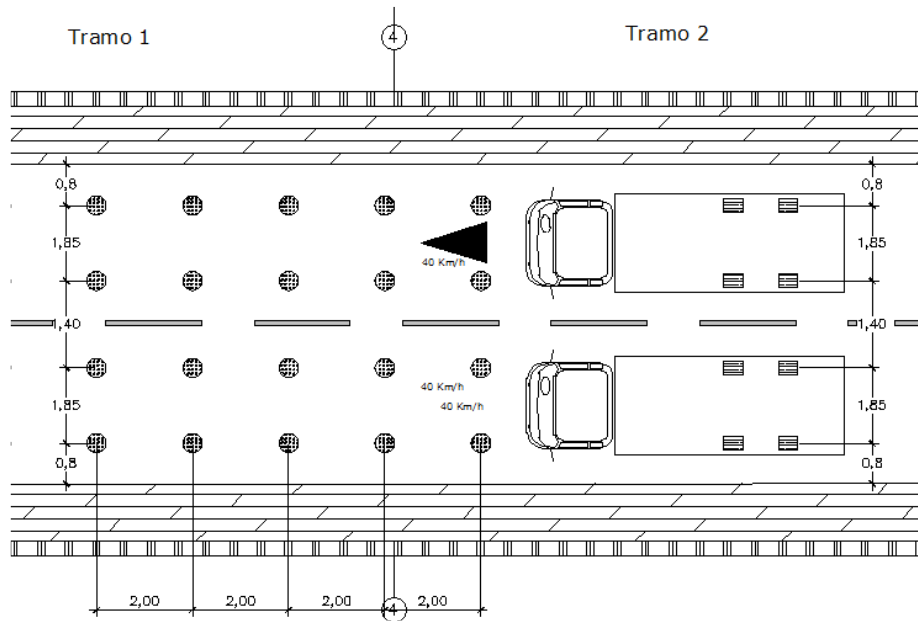
**Figura 13.** Esquema de caso de carga I

Demarcación del carril: Se demarcan las posiciones sobre el carril indicado para el Caso II (Prueba Estática), para especificar colocación de las dos vagonetas espaciadas a dos metros, sobre el tramo central del puente.



**Figura 14.** Esquema de caso de carga II

Seguidamente se realiza la demarcación del Caso III (lámina 7), misma para el Caso IV (lámina 8) , para garantizar alineamiento adecuado.



**Figura 15.** Esquema de caso de carga II

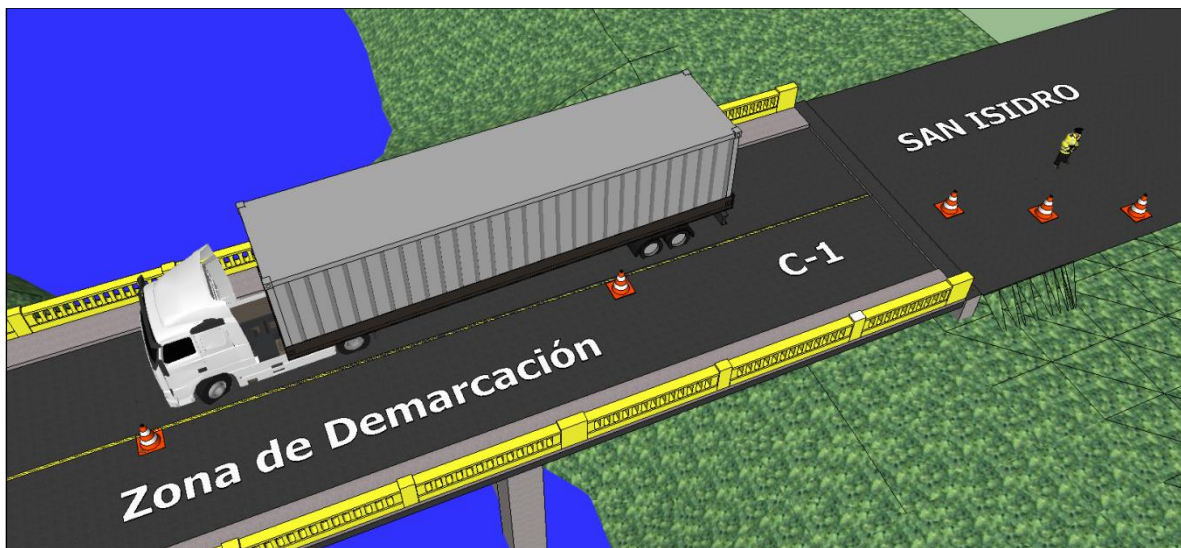
## 8. Protocolo de cierre de vía

Coordinar con las entidades de tránsito la regulación del paso de vehículos por la vía sobre la que está situada el puente piloto, de forma que los conductores sean informados sobre el procedimiento que se ejecutará y el tiempo que deberán esperar durante los periodos de cierre estimados.

### 8.1. Metodología

Se inicia con la regulación de tránsito a las 9:00 a.m., para ello la policía de tránsito desviará a los vehículos livianos por las rutas alternas identificadas, estas rutas pueden ser usadas únicamente por vehículos livianos.

Los encargados deben ubicarse a 100 m de distancia de las juntas de expansión.



**Figura 16.** Esquema de Regulación Carril (C-1) Cartago-San Isidro

## 9. Protocolo pruebas - Estáticas

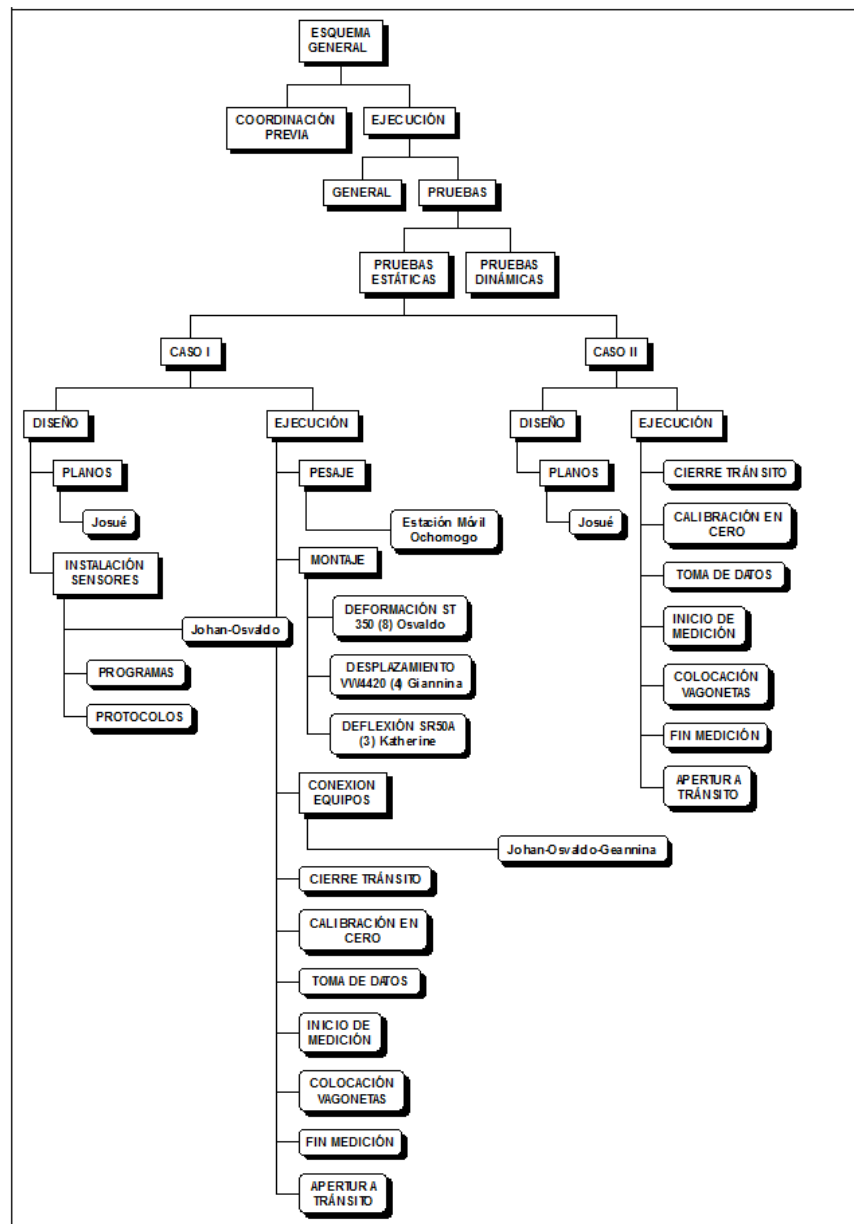


Figura 17. Esquema de pruebas estáticas

## 9.1. Prueba Estática, Caso I

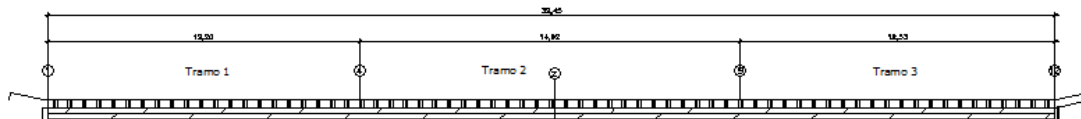
*Variables a medir: deformación, deflexión y desplazamiento*

### 9.1.1. Caso de carga

Para el primer caso de carga, se utilizarán dos vagonetas de aproximadamente 40 Ton cada una, ubicadas sobre el claro central del puente, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



**Figura 18.** Caso de Carga I

### 9.1.2. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	9	Sensores ST350	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctite 410 black toughened adhesive, part # 41045	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctite tak pak 752, part # 18637	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software RTDaq	TEC - eBridge	
	1	Multímetro	TEC - CIVCO	
	1	Fuente de poder	TEC - Electrónica	
	1	Desatornilladores	TEC - eBridge	

	1	Datalogger CR1000	TEC - eBridge	
	20	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	20	Arandelas	TEC - eBridge	
	20	Placas metal 20X30X2.5mm	TEC - eBridge	
	3	Sensores SR50A	TEC - eBridge	
	15	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	3	Placas metal 500X500X2.5mm	TEC - eBridge	
	3	Placas metal 200X200X2.5mm	TEC - eBridge	
	4	Sensores VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	
	1	Varillas de metal	TEC - eBridge	
	4	Apoyos metal	TEC - eBridge	
	4	VW-4420 Crackmeter	TEC - eBridge	
	4	Bases para montar VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	
	1	Corrector blanco en lápiz para marcar	TEC - eBridge	
	1	Regla metálica	TEC - eBridge	
	1	Escuadra	TEC - CIVCO	
	1	Nivel	TEC - eBridge	
	1	Cinta métrica	TEC - CIVCO	
	1	Litro de diluyente	TEC - CIVCO	
	1	Mecha para limpiar	TEC - CIVCO	
	1	Brocha	TEC - CIVCO	

**Tabla 13.** Equipo necesario para la prueba del caso I

### 9.1.3. Instalación de sensores



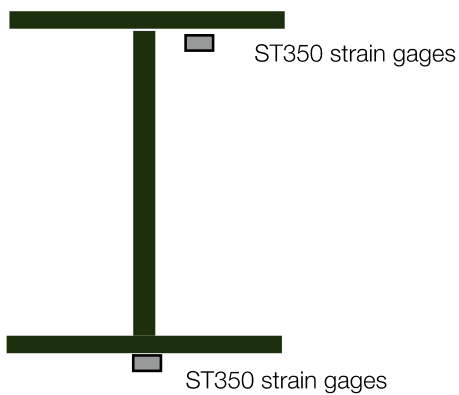
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

**Figura 19.** Ubicación de sensores para el caso de Carga I

9.1.3.1. Procedimientos de instalación:

b. Instalación de 9 ST350

Los sensores ST350 se colocarán en el ala superior e inferior de las vigas de acero en el claro central del puente, de acuerdo a lo marcado en la figura 20.



**Figura 20.** Ubicación de sensores en la viga

Para identificar los sensores se utilizará la siguiente guía:

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica	Gage Factor	Offset
Deformacion(1)	2464	B	superior			
Deformacion(2)	2465	B	inferior			
Deformacion(3)	2466	C	superior			
Deformacion(4)	2468	C	inferior			
Deformacion(5)	2469	D	superior			
Deformacion(6)	2471	D	inferior			
Deformacion(7)	2472	E	superior			
Deformacion(8)	3051	E	inferior			
Deformacion(10)	3054	F	inferior			

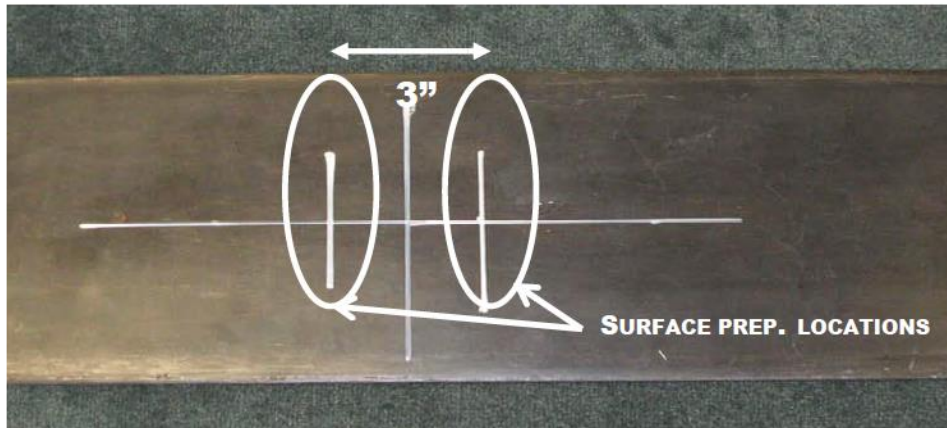
**Tabla 14.** Identificación de sensores ST350 en el puente



**Figura 21.** Montaje de sensores ST350 en vigas (fuente manual ST350 bridge diagnostic)

Pasos para la instalación sobre superficie metálica:

- a. Previo a la instalación los sensores deben montarse sobre placas metálicas de 20X30X2.5mm utilizando tornillos y arandelas.
- b. La superficie de las vigas debe limpiarse, dejando expuesto el acero y eliminando pintura o grasa presente.
- c. Una vez limpia la superficie, se debe marcar la viga para colocar el sensor, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



**Figura 22.**

Demarcación para colocar sensor en viga ( fuente manual ST350 bridge diagnostic)

- d. Aplicar el pegamento en spray loctite 752 a la superficie de la viga sobre la cual se colocará el sensor, aplicar el pegamento loctite 410 a las placas sobre las cuales se monto el sensor ST350 y colocar el sensor sobre la viga. Esto debe realizarse para cada sensor. Debe mantenerse sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos y no se debe ejercer presión sobre la galga.

Instalación de 3 SR50A

Los sensores SR50A se colocarán en el ala inferior de las vigas de acero en el centro de cada uno de los tres claros.

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica
TCDT		D	inferior	
TCDT_2		D	inferior	
TCDT_3		D	inferios	

**Tabla 15.** Identificación de sensores SR50A en el puente

Instalación de 4 VW-4420

Los sensores VW-4420 se colocarán en las juntas del puente, según lo indicado en la figura 6.

Sensor	Identificación	Junta	Color gráfica	Distancia calibración
Disp(1)		hacia Cartago		
Disp(2)		hacia Cartago		
Disp(3)		Hacia San Isidro		
Disp(4)		Hacia San Isidro		

**Tabla 16.** Identificación de sensores VW-4420 en el puente

9.1.3.2. Actividades para la instalación de los sensores conectados al CR1000:

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
M 03.	08:00	Salida del TEC	GIO	Asistentes: OCU, JES, EDA, OCA, Adm Mant.
M 03.	08:15	Llegada puente	GIO	llevar planta CIVCO, taladro, esmeril
M 03.	08:15	Montaje equipo de acceso	CAR	Instalación escaleras, andamios, tablonés
M 03.	08:15	Corte en vía para sistema conteo vehicular	JUC - EDA	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas centrales	OCU	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas laterales - cartago	JES	
M 03.	09:00	Perforaciones montaje VW4420	GIO - EDA	
M 03.	09:30	Limpieza de vigas laterales - san isidro	JES	
M 03.	11:00	Regreso al TEC	GIO - OCA	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	
V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA	


V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento CR1000	OCA	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	
V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinámicas	OCA	
V 05.	11:00	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:00	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 06.	12:00	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:00	Desmontaje todo equipo	JOC	









**Tabla 16.** Actividades para instalación de sensores conectados al CR1000

### 9.1.3.3. Muestreo prueba de carga estática

El cableado de los sensores y el datalogger para los casos de carga I y II son:

Conexión CR1000

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	COM EVEN H	AM16/32 (ST350)
1L	COM EVEN L	AM16/32 (ST350)
	COM ODD L	AM16/32 (ST350)
2H		
2L		
	COM Ground	AM16/32 (ST350)
	Transparente	SR50-A (1)
	Transparente	SR50-A (2)
	Transparente	SR50-A (3)
3H		
3L		
		
4H		

4L		
		
VX1	COM ODD H	AM16/32 (ST350)
		
P1		
P2		
		
5H		
5L		
		
6H		
6L		
		
7H		
7L		
		
8H		
8L		
		
VX2		
		
VX3		
G	GND	AM16/32 (ST350)
	RS-232, amarillo	AVW200
	GND	AM16/32 (Crackmeter)
	Blanco	SR50-A (1)
5V		
G	Negro	SR50-A (1)
	Blanco	SR50-A (2)
	Negro	SR50-A (2)
	Blanco	SR50-A (3)
SW-12		
G	Negro	SR50-A (3)
12V	12V	AM16/32 (ST350)
	12V	AM16/32 (Crackmeter)
	Rojo	SR50-A (1)
	Rojo	SR50-A (2)
	Rojo	SR50-A (3)
12V		
G		
C1	RS-232, café	AVW200
C2	RS-232, blanco	AVW200
C3	Verde	SR50-A (1)
C4	CLK	
G		
C5	Verde	SR50-A (2)

C6	RES	
C7	Verde	SR50-A (3)
C8		
G		






**Tabla 17.** Conexiones al CR1000
















Conexión AVW200

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
CLK	CLK	AM16/32 (Crackmeter)
RES	RES	AM16/32 (Crackmeter)
1V+	COM ODD H	AM16/32 (Crackmeter)
1V-	COM ODD L	AM16/32 (Crackmeter)
1T+	COM EVEN H	AM16/32 (Crackmeter)
1T-	COM EVEN L	AM16/32 (Crackmeter)
G	COM Ground	AM16/32 (Crackmeter)
RS-232, amarillo	G	CR1000
RS-232, café	C3	CR1000
RS-232, blanco	C4	CR1000












**Tabla 18.** Conexiones al AVW200

Conexión AM16/32 (ST350)

Terminal	Se conecta a	Name
1H	Rojo	ST350 (1)
1L	Negro	ST350 (1)
		
2H	Verde	ST350 (1)
2L	Blanco	ST350 (1)
		
3H	Rojo	ST350 (2)
3L	Negro	ST350 (2)
		
4H	Verde	ST350 (2)
4L	Blanco	ST350 (2)
		
5H	Rojo	ST350 (3)
5L	Negro	ST350 (3)
		
6H	Verde	ST350 (3)
6L	Blanco	ST350 (3)
		
7H	Rojo	ST350 (4)
7L	Negro	ST350 (4)
		
8H	Verde	ST350 (4)


	8L	Blanco	ST350 (4)
	9H	Rojo	ST350 (5)
	9L	Negro	ST350 (5)
			
	10H	Verde	ST350 (5)
	10L	Blanco	ST350 (5)
			
	11H	Rojo	ST350 (6)
	11L	Negro	ST350 (6)
			
	12H	Verde	ST350 (6)
	12L	Blanco	ST350 (6)
			
	RES	C6	CR1000
	CLK	C4	CR1000
	GND	G	CR1000
	12V	12V	CR1000
	COM ODD H	VX1	CR1000
	COM ODD L		CR1000
	COM BGround		
	COM EVEN H	1H	CR1000
	COM EVEN L	1L	CR1000
	COM BGround		
	13H	Rojo	ST350 (7)
	13L	Negro	ST350 (7)
			
	14H	Verde	ST350 (7)
	14L	Blanco	ST350 (7)
			
	15H	Rojo	ST350 (8)
	15L	Negro	ST350 (8)
			
	16H	Verde	ST350 (8)
	16L	Blanco	ST350 (8)
			
	17H	Rojo	ST350 (9)
	17L	Negro	ST350 (9)
			
	18H	Verde	ST350 (9)
	18L	Blanco	ST350 (9)
			
	19H	Rojo	ST350 (10)
	19L	Negro	ST350 (10)
			
	20H	Verde	ST350 (10)
	20L	Blanco	ST350 (10)
			
	21H		
	21L		
			





























22H		
22L		
		
23H		
23L		
		
24H		
24L		
		
25H		
25L		
		
26H		
26L		
		
27H		
27L		
		
28H		
28L		
		
29H		
29L		
		
30H		
30L		
		
31H		
31L		
		
32H		
32L		
		




**Tabla 19.** Conexiones al AM 16/32 (ST350)

Conexión AM16/32 (Geokon 4420)

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	Rojo	Geokon 4420 (1)
1L	Negro	Geokon 4420 (1)
	Transparente	Geokon 4420 (1)
2H	Verde	Geokon 4420 (1)
2L	Blanco	Geokon 4420 (1)

		
3H	Rojo	Geokon 4420 (2)
3L	Negro	Geokon 4420 (2)
	Transparente	Geokon 4420 (2)
4H	Verde	Geokon 4420 (2)
4L	Blanco	Geokon 4420 (2)
		
5H	Rojo	Geokon 4420 (3)
5L	Negro	Geokon 4420 (3)
	Transparente	Geokon 4420 (3)
6H	Verde	Geokon 4420 (3)
6L	Blanco	Geokon 4420 (3)
		
7H	Rojo	Geokon 4420 (4)
7L	Negro	Geokon 4420 (4)
	Transparente	Geokon 4420 (4)
8H	Verde	Geokon 4420 (4)
8L	Blanco	Geokon 4420 (4)
		
9H		
9L		
		
10H		
10L		
		
11H		
11L		
		
12H		
12L		
		
RES	RES	AVW200
CLK	CLK	AVW200
GND		
12V		
COM ODD H	1V+	AVW200
COM ODD L	1V-	AVW200
COM BGround		
COM EVEN H	1T+	AVW200
COM EVEN L	1T-	AVW200
COM BGround		
13H		
13L		
		
14H		
14L		
		
15H		

15L		
		
16H		
16L		
		
17H		
17L		
		
18H		
18L		
		
19H		
19L		
		
20H		
20L		
		
21H		
21L		
		
22H		
22L		
		
23H		
23L		
		
24H		
24L		
		
25H		
25L		
		
26H		
26L		
		
27H		
27L		
		
28H		
28L		
		
29H		
29L		
		

30H		
30L		
		
31H		
31L		
		
32H		
32L		
		

**Tabla 20.** Conexiones al AM 16/32 (Geokon 4420)

El procedimiento para la recolección de datos se detalla a continuación:

Hora estimada	Actividad	Observaciones	Responsable
9:30 am	Cierre tránsito		OCU - Tránsito
9:30 am	Inicio programa ESTATICA.CR1 en dataloger		OCA
9:32 am	Calibración sensores		OCA
9:40 am	Colocación vagonetas		OCU
10:00 am	Eliminación vagonetas		OCU
10:00 am	Finalización programa ESTATICA.CR1 en dataloger		OCA
10:00 am	Apertura tránsito		OCU - Tránsito

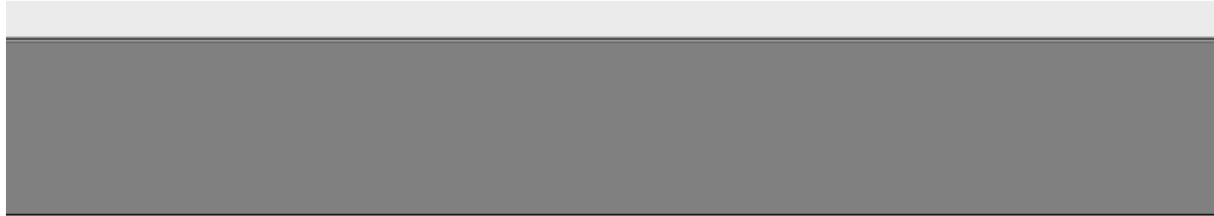
**Tabla 21.** Prueba estática, caso I - actividades

## 9.2. Prueba Estática, Caso II

Variables a medir: deformación, deflexión y desplazamiento

### 9.2.1. Caso de carga

Para el segundo caso de carga, se utilizarán dos vagonetas de aproximadamente 40 Ton cada una, ubicadas sobre el carril derecho sobre ejes D-F, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

**Figura 22.** Caso de Carga II

### 9.2.2. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	10	Sensores ST350	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctite 410 black toughened adhesive, part # 41045	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctite tak pak 752, part # 18637 (spray)	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software RTDaq	TEC - eBridge	
	1	Multímetro	TEC - CIVCO	
	1	Fuente de poder	TEC - Electrónica	
	1	Desatornilladores	TEC - eBridge	

	1	Datalogger CR1000	TEC - eBridge	
	20	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	20	Arandelas	TEC - eBridge	
	20	Placas metal 20X30X2.5mm	TEC - eBridge	
	3	Sensores SR50A	TEC - eBridge	
	15	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	3	Placas metal 500X500X2.5mm	TEC - eBridge	
	3	Placas metal 200X200X2.5mm	TEC - eBridge	
	4	Sensores VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	
	1	Varillas de metal	TEC - eBridge	
	4	Apoyos metal	TEC - eBridge	
	4	VW-4420 Crackmeter	TEC - eBridge	
	4	Bases para montar VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	
	1	Corrector blanco en lápiz para marcar	TEC - eBridge	
	1	Regla metálica	TEC - eBridge	
	1	Escuadra	TEC - CIVCO	
	1	Nivel	TEC - eBridge	
	1	Cinta métrica	TEC - CIVCO	
	1	Litro de diluyente	TEC - CIVCO	
	1	Mecha para limpiar	TEC - CIVCO	

**Tabla 23.** Equipo necesario para la prueba del caso II

### 9.2.3. Instalación de sensores

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

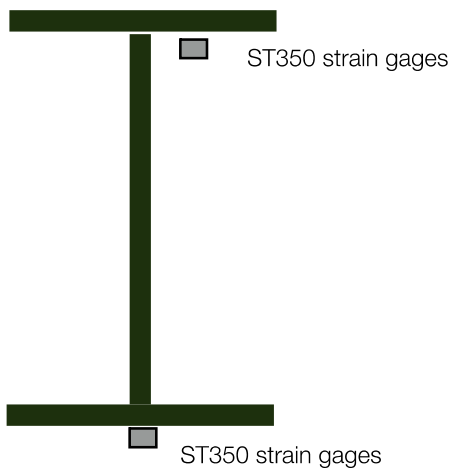
**Figura 23.** Ubicación de sensores para el caso II

Procedimientos de instalación:

Instalación de sensores conectados al CR-1000

Instalación de 9 ST350

Los sensores ST350 se colocarán en el ala superior e inferior de las vigas de acero en el claro central del puente, de acuerdo a lo marcado en la figura 24.



**Figura 24.** Ubicación de sensores en la viga

Para identificar los sensores se utilizará la siguiente guía:

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica	Gage Factor	Offset
Deformacion(1)	2464	B	superior			
Deformacion(2)	2465	B	inferior			
Deformacion(3)	2466	C	superior			
Deformacion(4)	2468	C	inferior			
Deformacion(5)	2469	D	superior			
Deformacion(6)	2471	D	inferior			
Deformacion(7)	2472	E	superior			
Deformacion(8)	3051	E	inferior			
Deformacion(10)	3054	F	inferior			

**Tabla 24.** Identificación de sensores ST350 en el puente

Los sensores se colocan utilizando el pegamento Loctite 410, de acuerdo a la expuesto en la siguiente figura:

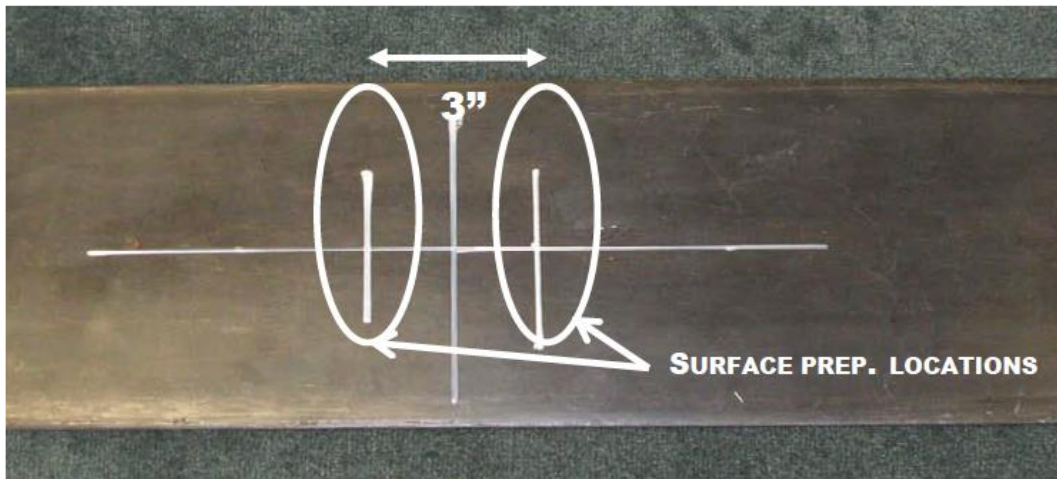


**Figura 25.** Montaje de sensores ST350 en vigas



Pasos para la instalación sobre superficie metálica:

1. Previo a la instalación los sensores deben montarse sobre placas metálicas de 20X30X2.5mm utilizando tornillos y arandelas.
2. La superficie de las vigas debe limpiarse, dejando expuesto el acero y eliminando pintura o grasa presente.
3. Una vez limpia la superficie, se debe marcar la viga para colocar el sensor, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



**Figura 26.**

Demarcación para colocar sensor en viga ( fuente manual ST350 bridge diagnostic)

1. Aplicar el pegamento en spray loctite 752 a la superficie de la viga sobre la cual se colocará el sensor, aplicar el pegamento loctite 410 a las placas sobre las cuales se monto el sensor ST350 y colocar el sensor sobre la viga. Esto debe realizarse para cada sensor. Debe mantenerse sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos y no se debe ejercer presión sobre la galga.

Instalación de 3 SR50A

Los sensores SR50A se colocarán en el ala inferior de las vigas de acero en el centro de cada uno de los tres claros.

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica
TDCT		D	inferior	
TDCT_2		D	inferior	
TDCT_3		D	inferior	

**Tabla 25.** Identificación de sensores SR50A en el puente

Instalación de 4 VW-4420

Los sensores VW-4420 se colocarán en las juntas del puente, según lo indicado en la figura 6.

Sensor	Identificación	Junta	Color gráfica	Distancia calibración
Desp(1)		hacia Cartago		
Desp(2)		hacia Cartago		
Desp(3)		Hacia San Isidro		
Desp(4)		Hacia San Isidro		

**Tabla 26.** Identificación de sensores VW-4420 en el puente

Actividades para la instalación de los sensores conectados al CR1000:

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
M 03.	08:00	Salida del TEC	GIO	Asistentes: OCU, JES, EDA, OCA, Adm Mant.
M 03.	08:15	Llegada puente	GIO	llevar planta CIVCO, taladro, esmeril
M 03.	08:15	Montaje equipo de acceso	CAR	Instalación escaleras, andamios, tablonés
M 03.	09:00	Limpieza de vigas centrales	OCU	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas laterales - cartago	JES	
M 03.	09:00	Perforaciones montaje VW4420	GIO - EDA	
M 03.	09:30	Limpieza de vigas laterales - san isidro	JES	
M 03.	10:00	Corte en vía para sistema conteo vehicular	GIO - EDA	
M 03.	11:00	Regreso al TEC	GIO - OCA	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	



V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA	
V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento CR1000	OCA	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	
V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinámicas	OCA	
V 05.	11:00	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:00	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 06.	12:00	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:00	Desmontaje todo equipo	JOC	










**Tabla 27.** Actividades para instalación de sensores conectados al CR1000

### 9.2.5. Muestreo prueba de carga estática, caso II

El cableado de los sensores y el datalogger para los casos de carga I y II son:

Conexión CR1000

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	COM EVEN H	AM16/32 (ST350)
1L	COM EVEN L	AM16/32 (ST350)
	COM ODD L	AM16/32 (ST350)
2H		
2L		
	COM Ground	AM16/32 (ST350)
	Transparente	SR50-A (1)
	Transparente	SR50-A (2)
	Transparente	SR50-A (3)
3H		

3L		
		
4H		
4L		
		
VX1	COM ODD H	AM16/32 (ST350)
		
P1		
P2		
		
5H		
5L		
		
6H		
6L		
		
7H		
7L		
		
8H		
8L		
		
VX2		
		
VX3		
G	GND	AM16/32 (ST350)
	RS-232, amarillo	AVW200
	GND	AM16/32 (Crackmeter)
	Blanco	SR50-A (1)
5V		
G	Negro	SR50-A (1)
	Blanco	SR50-A (2)
	Negro	SR50-A (2)
	Blanco	SR50-A (3)
SW-12		
G	Negro	SR50-A (3)
12V	12V	AM16/32 (ST350)
	12V	AM16/32 (Crackmeter)
	Rojo	SR50-A (1)
	Rojo	SR50-A (2)
	Rojo	SR50-A (3)
12V		
G		
C1	RS-232, café	AVW200
C2	RS-232, blanco	AVW200
C3	Verde	SR50-A (1)

C4	CLK	
G		
C5	Verde	SR50-A (2)
C6	RES	
C7	Verde	SR50-A (3)
C8		
G		






**Tabla 28.** Conexiones al CR1000
















## Conexión AVW200














Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
CLK	CLK	AM16/32 (Crackmeter)
RES	RES	AM16/32 (Crackmeter)
1V+	COM ODD H	AM16/32 (Crackmeter)
1V-	COM ODD L	AM16/32 (Crackmeter)
1T+	COM EVEN H	AM16/32 (Crackmeter)
1T-	COM EVEN L	AM16/32 (Crackmeter)
G	COM Ground	AM16/32 (Crackmeter)
RS-232, amarillo	G	CR1000
RS-232, café	C3	CR1000
RS-232, blanco	C4	CR1000

**Tabla 29.** Conexiones al AVW200

## Conexión AM16/32 (ST350)

Terminal	Se conecta a	Name
1H	Rojo	ST350 (1)
1L	Negro	ST350 (1)
		
2H	Verde	ST350 (1)
2L	Blanco	ST350 (1)
		
3H	Rojo	ST350 (2)
3L	Negro	ST350 (2)
		
4H	Verde	ST350 (2)
4L	Blanco	ST350 (2)
		
5H	Rojo	ST350 (3)
5L	Negro	ST350 (3)
		
6H	Verde	ST350 (3)
6L	Blanco	ST350 (3)

			
	7H	Rojo	ST350 (4)
	7L	Negro	ST350 (4)
			
	8H	Verde	ST350 (4)
	8L	Blanco	ST350 (4)
			
	9H	Rojo	ST350 (5)
	9L	Negro	ST350 (5)
			
	10H	Verde	ST350 (5)
	10L	Blanco	ST350 (5)
			
	11H	Rojo	ST350 (6)
	11L	Negro	ST350 (6)
			
	12H	Verde	ST350 (6)
	12L	Blanco	ST350 (6)
			
	RES	C6	CR1000
	CLK	C4	CR1000
	GND	G	CR1000
	12V	12V	CR1000
	COM ODD H	VX1	CR1000
	COM ODD L		CR1000
	COM BGround		
	COM EVEN H	1H	CR1000
	COM EVEN L	1L	CR1000
	COM BGround		
	13H	Rojo	ST350 (7)
	13L	Negro	ST350 (7)
			
	14H	Verde	ST350 (7)
	14L	Blanco	ST350 (7)
			
	15H	Rojo	ST350 (8)
	15L	Negro	ST350 (8)
			
	16H	Verde	ST350 (8)
	16L	Blanco	ST350 (8)
			
	17H	Rojo	ST350 (9)
	17L	Negro	ST350 (9)
			
	18H	Verde	ST350 (9)
	18L	Blanco	ST350 (9)
			
	19H	Rojo	ST350 (10)
	19L	Negro	ST350 (10)
			
	20H	Verde	ST350 (10)
	20L	Blanco	ST350 (10)

		
	21H	
	21L	
		
	22H	
	22L	
		
	23H	
	23L	
		
	24H	
	24L	
		
	25H	
	25L	
		
	26H	
	26L	
		
	27H	
	27L	
		
	28H	
	28L	
		
	29H	
	29L	
		
	30H	
	30L	
		
	31H	
	31L	
		
	32H	
	32L	
		















**Tabla 30.** Conexiones al AM 16/32 (ST350)






Conexión AM16/32 (Geokon 4420)

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
----------	--------------	-----------------

1H	Rojo	Geokon 4420 (1)
1L	Negro	Geokon 4420 (1)
	Transparente	Geokon 4420 (1)
2H	Verde	Geokon 4420 (1)
2L	Blanco	Geokon 4420 (1)
		
3H	Rojo	Geokon 4420 (2)
3L	Negro	Geokon 4420 (2)
	Transparente	Geokon 4420 (2)
4H	Verde	Geokon 4420 (2)
4L	Blanco	Geokon 4420 (2)
		
5H	Rojo	Geokon 4420 (3)
5L	Negro	Geokon 4420 (3)
	Transparente	Geokon 4420 (3)
6H	Verde	Geokon 4420 (3)
6L	Blanco	Geokon 4420 (3)
		
7H	Rojo	Geokon 4420 (4)
7L	Negro	Geokon 4420 (4)
	Transparente	Geokon 4420 (4)
8H	Verde	Geokon 4420 (4)
8L	Blanco	Geokon 4420 (4)
		
9H		
9L		
		
10H		
10L		
		
11H		
11L		
		
12H		
12L		
		
RES	RES	AVW200
CLK	CLK	AVW200
GND		
12V		
COM ODD H	1V+	AVW200
COM ODD L	1V-	AVW200
COM BGround		
COM EVEN H	1T+	AVW200
COM EVEN L	1T-	AVW200
COM BGround		
13H		
13L		
		



14H		
14L		
		
15H		
15L		
		
16H		
16L		
		
17H		
17L		
		
18H		
18L		
		
19H		
19L		
		
20H		
20L		
		
21H		
21L		
		
22H		
22L		
		
23H		
23L		
		
24H		
24L		
		
25H		
25L		
		
26H		
26L		
		
27H		
27L		
		
28H		
28L		

		
	29H	
	29L	
		
	30H	
	30L	
		
	31H	
	31L	
		
	32H	
	32L	
		

**Tabla 31.** Conexiones al AM 16/32 (Geokon 4420)

El procedimiento para la recolección de datos se detalla a continuación:

Hora estimada	Actividad	Observaciones	Responsable
10:30 am	Cierre tránsito		OCU - Tránsito
10:30 am	Inicio programa ESTATICA.CR1 en dataloger		OCA
10:32 am	Calibración sensores		OCA
10:40 am	Colocación vagonetas		OCU
11:00 am	Eliminación vagonetas		OCU
11:00 am	Finalización programa ESTATICA CR1 en dataloger		OCA
11:00 am	Apertura tránsito		OCU - Tránsito

**Tabla 32.** Prueba estática, caso II - actividades

1.

# Protocolo pruebas - Dinámicas

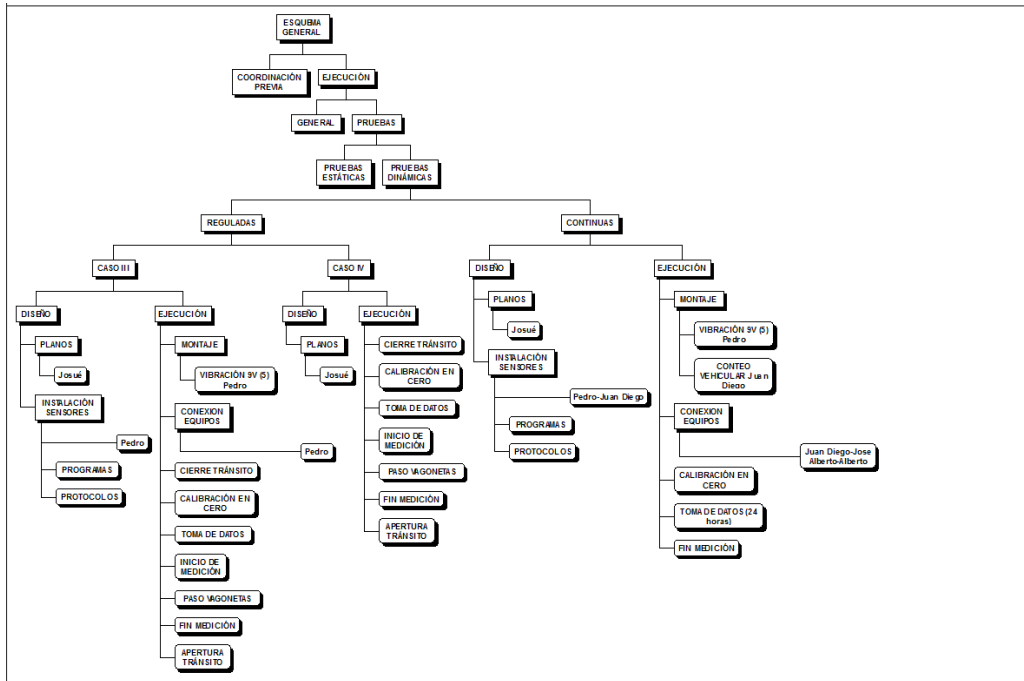


Figura 27.

Esquema pruebas dinámicas controladas

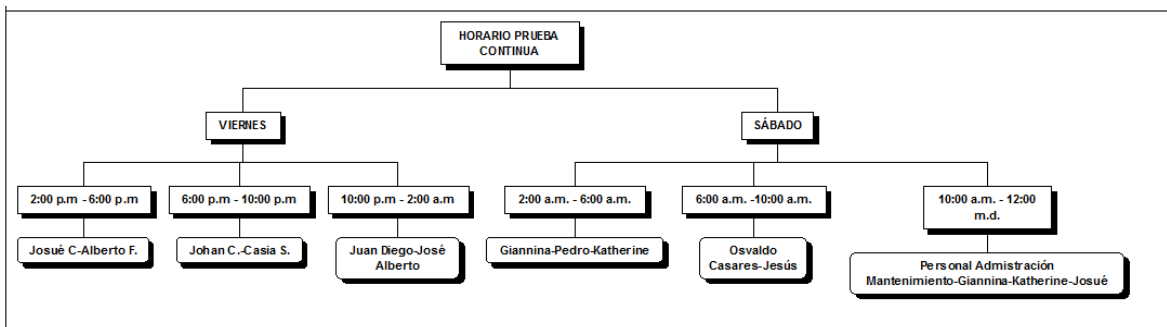


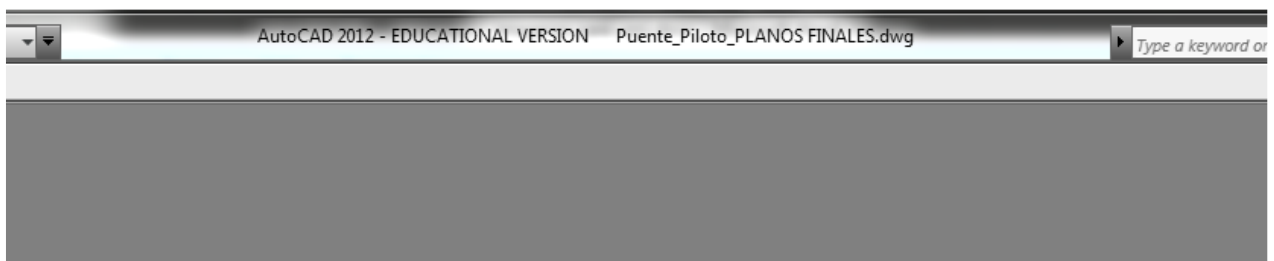
Figura 28. Esquema prueba dinámica 24 horas

## 10.1. Prueba Dinámica, Caso III

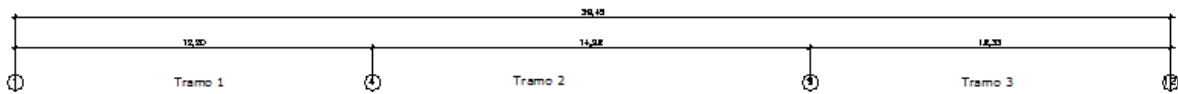
VARIABLES A MEDIR: deformación, desplazamiento y vibración

### 10.1.1. Caso de carga

Para el tercer caso de carga, se utilizarán dos vagonetas de aproximadamente 40 Ton cada una, las cuales pasarán sobre el puente una en cada carril, a 40km/hr de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



**Figura 29.** Caso de Carga III

### 10.1.2. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	8	Sensores ST350	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctile	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software RTDaq	TEC - eBridge	

	1	Multímetro	TEC - CIVCO	
	1	Fuente de poder	TEC - Electrónica	
	1	Desatornilladores	TEC - eBridge	
	1	Datalogger CR1000	TEC - eBridge	
	16	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	16	Arandelas	TEC - eBridge	
	16	Placas metal 20X30X2.5mm	TEC - eBridge	
	4	Sensores VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	
	1	Varillas de metal	TEC - eBridge	
	4	Apoyos metal	TEC - eBridge	
	5	Acelerómetros Waspnote	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software medición vibración	TEC - eBridge	
	5	Cargadores iPhone	GIA - JOC	
	1	Corrector blanco en lápiz para marcar	TEC - eBridge	
	1	Regla metálica	TEC - eBridge	
	1	Escuadra	TEC - CIVCO	
	1	Nivel	TEC - eBridge	
	1	Cinta métrica	TEC - CIVCO	
	1	Litro de diluyente	TEC - CIVCO	
	1	Mecha para limpiar	TEC - CIVCO	
	10	Prensas para anclar sensores a vigas	TEC - eBridge	

**Tabla 33.** Equipo necesario para la prueba del caso III

1.

**2. Instalación de sensores**

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



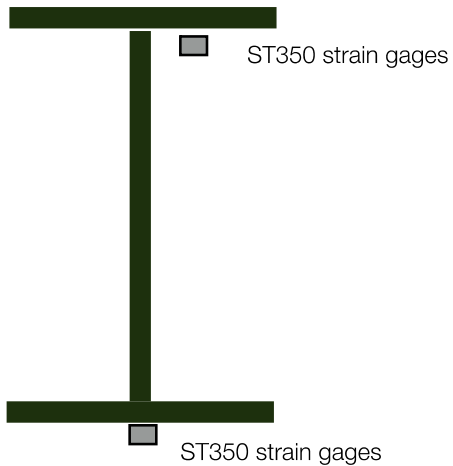
**Figura 30.** Ubicación de sensores para el caso III

Procedimientos de instalación:

Instalación de sensores conectados al CR-1000

Instalación de 8 ST350

Los sensores ST350 se colocarán en el ala superior e inferior de las vigas de acero en el claro central del puente, de acuerdo a lo marcado en la figura 27.



**Figura 31.** Ubicación de sensores en la viga

Para identificar los sensores se utilizará la siguiente guía:

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica	Gage Factor	Offset
Deformacion(1)	2464	B	superior			
Deformacion(3)	2466	C	superior			
Deformacion(4)	2468	C	inferior			
Deformacion(5)	2469	D	superior			
Deformacion(6)	2471	D	inferior			
Deformacion(7)	2472	E	superior			
Deformacion(8)	3051	E	inferior			
Deformacion(10)	3054	F	inferior			

**Tabla 34.** Identificación de sensores ST350 en el puente

Los sensores se colocan utilizando el pegamento Loctile 410, de acuerdo a la expuesto en la siguiente figura:



**Figura 32.** Montaje de sensores ST350 en vigas

Pasos para la instalación sobre superficie metálica:

1. Previo a la instalación los sensores deben montarse sobre placas metálicas de 20X30X2.5mm utilizando tornillos y



arandelas.

2. La superficie de las vigas debe limpiarse, dejando expuesto el acero y eliminando pintura o grasa presente.
3. Una vez limpia la superficie, se debe marcar la viga para colocar el sensor, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:

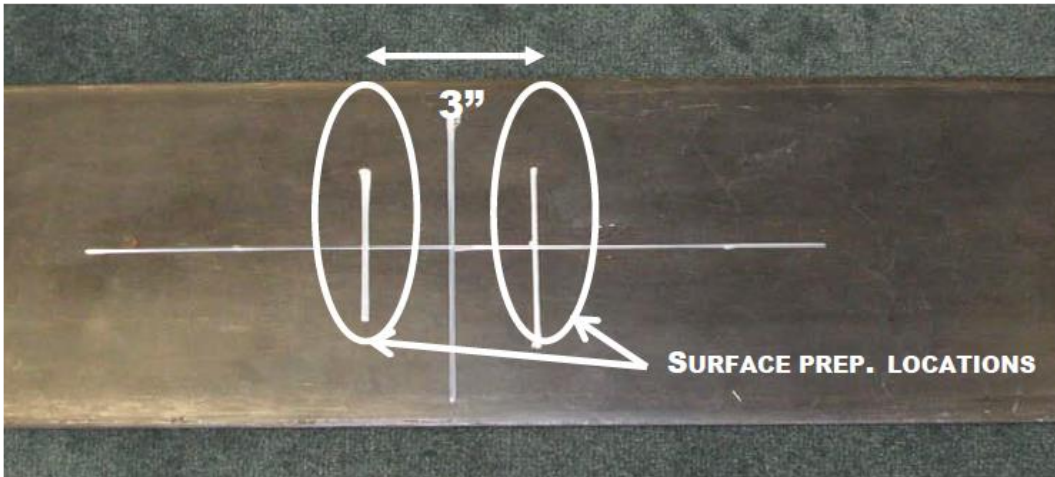


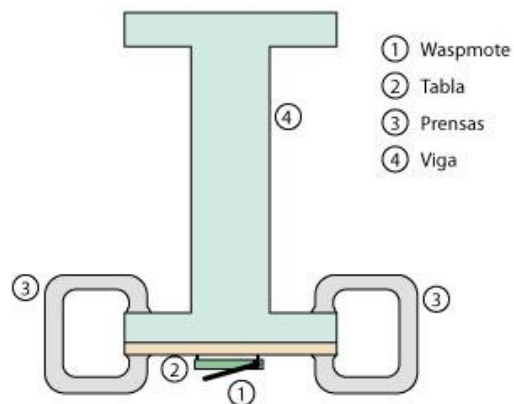
Figura 33.

Demarcación para colocar sensor en viga ( fuente manual ST350 bridge diagnostic)

1. Aplicar el pegamento en spray loctite 752 a la superficie de la viga sobre la cual se colocará el sensor, aplicar el pegamento loctite 410 a las placas sobre las cuales se monto el sensor ST350 y colocar el sensor sobre la viga. Esto debe realizarse para cada sensor. Debe mantenerse sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos y no se debe ejercer presión sobre la galga.

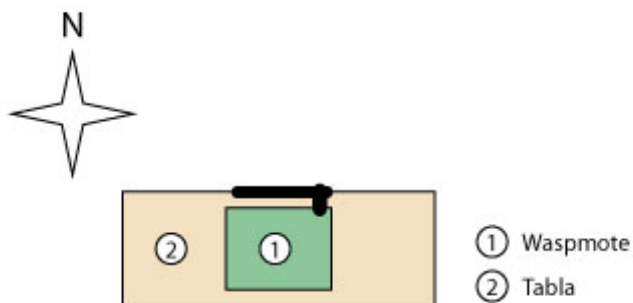
#### Instalación de 5 Wasmotes (Vibraciones)

Los nodos Wasmotes se colocarán en el ala inferior de las 5 vigas en el claro central del puente, de acuerdo con lo marcado en la figura 12. Los nodos se han atornillado previamente a tablas para facilitar su instalación en el puente utilizando prensas de carpinterías como se muestra en la figura 34.

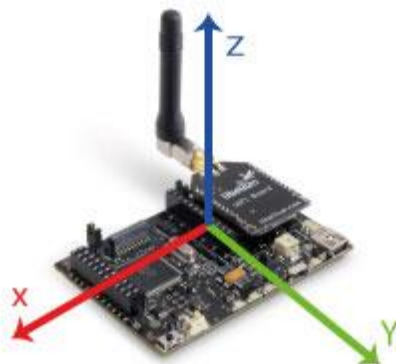


**Figura 34.** Instalación de Nodos en las vigas del puente

Además es necesario mencionar que los nodos deben estar instalados con la antena en dirección Norte como se muestra en la figura 35.

**Figura 35.** Disposición de nodo con respecto a puntos cardinales

Para la interpretación de los datos es necesario señalar que las mediciones de aceleraciones se hacen en tres ejes x, y y z. Donde los ejes se distribuyen como se muestra en figura /// con respecto al nodo.

**Figura 36.** Ejes de aceleraciones en el nodo Wasp mote

Para la identificación de los sensores y sus mediciones se utiliza la siguiente guía:

Nodo Sensor	Eje viga	Aceleración X*	Aceleración Y*	Aceleración Z*	Aceleración Total*
Nodo 1	B	Rojo	Verde	Azul	Blanco

Nodo 2	C	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 3	D	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 4	E	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 5	F	Rojo	Verde	Azul	Blanco

**Tabla 35.** Identificación de nodos Waspnotes en el puente

*\*Los colores de las aceleraciones mostrados en la tabla (( son los colores con los que estas serán representados en la interfaz de usuario.*

Actividades para la instalación de los sensores conectados al CR1000:

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
M 03.	08:00	Salida del TEC	GIO	Asistentes: OCU, JES, EDA, OCA, Adm Mant.
M 03.	08:15	Llegada puente	GIO	llevar planta CIVCO, taladro, esmeril
M 03.	08:15	Montaje equipo de acceso	CAR	Instalación escaleras, andamios, tablonos
M 03.	09:00	Limpieza de vigas centrales	OCU	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas laterales - cartago	JES	
M 03.	09:30	Limpieza de vigas laterales - san isidro	JES	
M 03.	10:00	Corte en vía para sistema conteo vehicular	GIO - EDA	
M 03.	11:00	Regreso al TEC	GIO - OCA	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	
V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA	
V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento CR1000	OCA	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	







V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinamicas	OCA	
V 05.	11:00	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:00	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 06.	12:00	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:00	Desmontaje todo equipo	JOC	






**Tabla 36.** Actividades para instalación de sensores conectados al CR1000

#### 10.1.4. Muestreo prueba de carga dinámica, caso III

El cableado de los sensores y el datalogger para los casos de carga III, IV y V son:

#### Conexión CR1000

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	Verde	ST350(1)
1L	Blanco	ST350(1)
	Negro	ST350(1)
2H	Transparente	ST350(1)
2L	Verde	ST350(3)
	Blanco	ST350(3)
	Negro	ST350(3)
	Transparente	ST350(3)
	Verde	ST350(4)
3H	Blanco	ST350(4)
3L	Negro	ST350(4)
	Transparente	ST350(4)
4H	Verde	ST350(5)
4L	Blanco	ST350(5)
	Negro	ST350(5)
VX1	Transparente	ST350(5)
	Rojo	ST350(1)
P1	Rojo	ST350(3)
P2	Rojo	ST350(4)
		
5H		
5L		

		
6H		
6L	Verde	ST350(6)
	Blanco	ST350(6)
7H	Negro	ST350(6)
7L	Transparente	ST350(6)
	Verde	ST350(7)
8H	Blanco	ST350(7)
8L	Negro	ST350(7)
	Transparente	ST350(7)
VX2	Verde	ST350(8)
	Blanco	ST350(8)
VX3	Negro	ST350(8)
G	Transparente	ST350(8)
	Verde	ST350(10)
	Blanco	ST350(10)
	Negro	ST350(10)
5V	Transparente	ST350(10)
G	Rojo	ST350(5)
	Rojo	ST350(6)
	Rojo	ST350(7)
SW-12	Rojo	ST350(8)
G	Rojo	ST350(10)
12V		
12V		
G		
C1		
C2		
C3		
C4		
G		
C5		
C6		
C7		
C8		
G		

**Tabla 37.** Conexiones al CR1000

El procedimiento para la recolección de datos se detalla a continuación:

Hora estimada	Actividad	Observaciones	Responsable
11:30 am	Cierre tránsito		OCU - Tránsito
11:30 am	Colocación vagonetas en punto de partida		OCU
11:30 am	Inicio programa 8 ST350.CR1 en dataloger CR1000		OCA
11:30 am	Inicio recolección datos de vibración		PEC
11:32 am	Calibración sensores ST350		GIA - OCA
11:35 am	Inicio recorrido sobre puente		OCU
11:36 am	Fin prueba		OCU
11:36 am	Finalización programa 8 ST350.CR1 en dataloger		GIA - OCA
11:36 am	Fin recolección datos vibración		PEC
11:40 am	Apertura tránsito		OCU - Tránsito

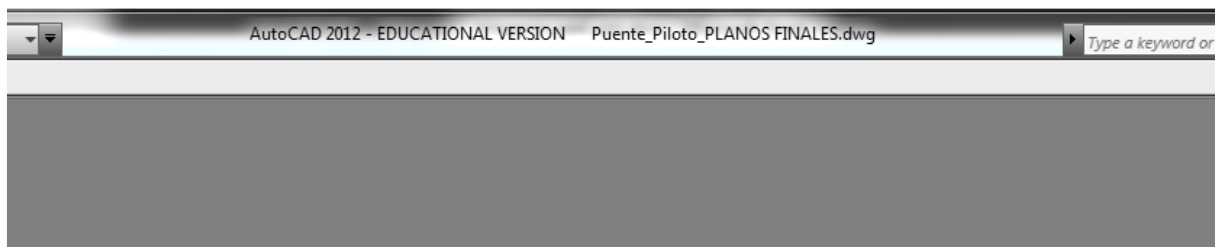
**Tabla 38.** Prueba estática, caso III - actividades

## 10.2. Prueba Dinámica, Caso IV

VARIABLES A MEDIR: deformación, desplazamiento y vibración

### 10.2.1. Caso de carga

Para el cuarto caso de carga, se utilizarán dos vagonetas de aproximadamente 40 Ton cada una, las cuales pasarán sobre el puente en el carril carril derecho entre ejes D-F, a 40km/hr de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

**Figura 37.** Caso de Carga IV

#### 10.2.2. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	8	Sensores ST350	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctile	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software RTDaq	TEC - eBridge	
	1	Multímetro	TEC - CIVCO	
	1	Fuente de poder	TEC - Electrónica	
	1	Desatornilladores	TEC - eBridge	
	1	Datalogger CR1000	TEC - eBridge	
	16	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	16	Arandelas	TEC - eBridge	
	16	Placas metal 20X30X2.5mm	TEC - eBridge	
	4	Sensores VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	

	1	Varillas de metal	TEC - eBridge	
	4	Apoyos metal	TEC - eBridge	
	5	Acelerómetros Waspnote	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software medición vibración	TEC - eBridge	
	5	Cargadores iPhone	GIA - JOC	
	4	VW-4420 Crackmeter	TEC - eBridge	
	4	Bases para montar VW-4420	TEC - eBridge	
	1	Epoxico	TEC - eBridge	

**Tabla 38.** Equipo necesario para la prueba del caso III

### 10.2.3. Instalación de sensores



**PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT**



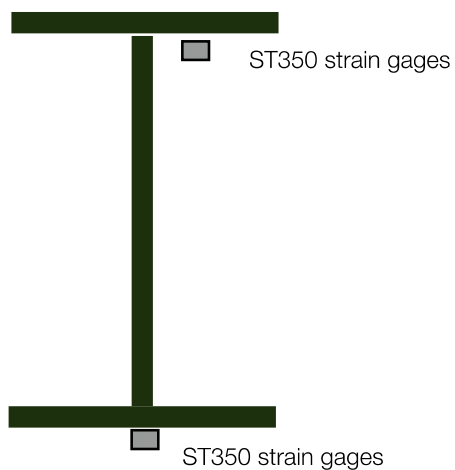
**Figura 39.** Ubicación de sensores para el caso IV

Procedimientos de instalación:

Instalación de 8 ST350

Los sensores ST350 se colocarán en el ala superior e inferior de las vigas de acero en el claro central del puente, de acuerdo a lo marcado en la figura 40.





**Figura 40.** Ubicación de sensores para el caso IV

Para identificar los sensores se utilizará la siguiente guía:

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica	Gage Factor	Offset
Deformacion(1)	2464	B	superior			
Deformacion(3)	2466	C	superior			
Deformacion(4)	2468	C	inferior			
Deformacion(5)	2469	D	superior			
Deformacion(6)	2471	D	inferior			
Deformacion(7)	2472	E	superior			
Deformacion(8)	3051	E	inferior			
Deformacion(10)	3054	F	inferior			

**Tabla 39.** Identificación de sensores ST350 en el puente

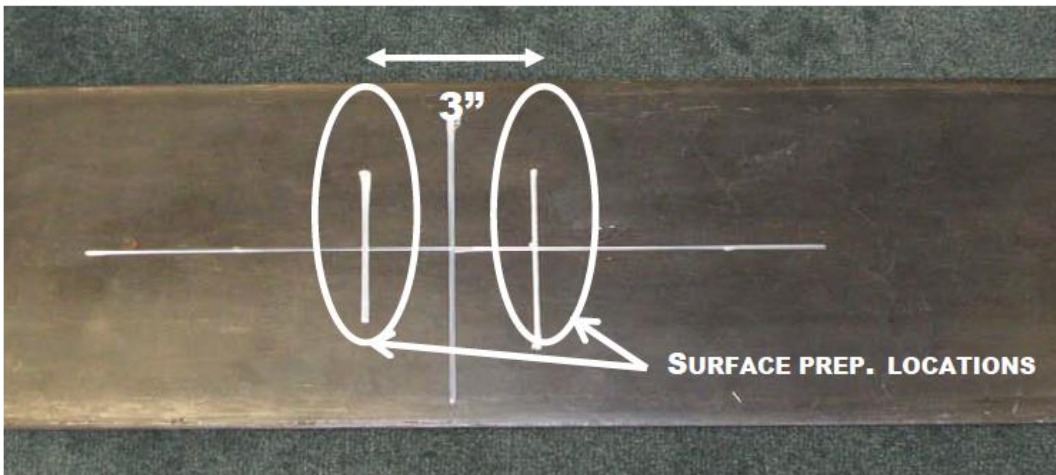
Los sensores se colocan utilizando el pegamento Loctile 410, de acuerdo a la expuesto en la siguiente figura:



**Figura 41.** Montaje de sensores ST350 en vigas

Pasos para la instalación sobre superficie metálica:

1. Previo a la instalación los sensores deben montarse sobre placas metálicas de 20X30X2.5mm utilizando tornillos y arandelas.
2. La superficie de las vigas debe limpiarse, dejando expuesto el acero y eliminando pintura o grasa presente.
3. Una vez limpia la superficie, se debe marcar la viga para colocar el sensor, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



**Figura 42.**

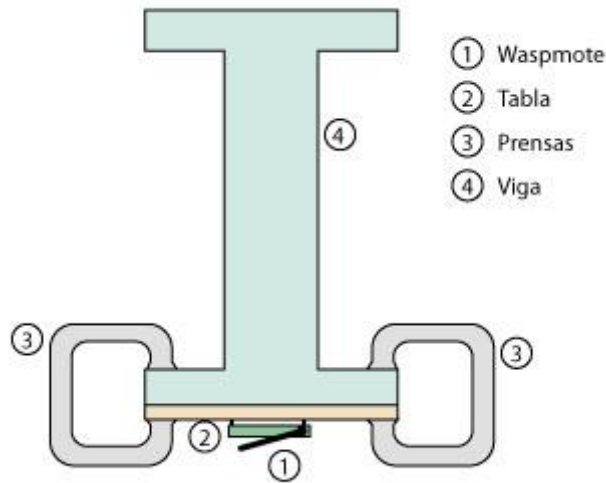
Demarcación para colocar sensor en viga ( fuente manual ST350 bridge diagnostic)

1. Aplicar el pegamento en spray loctite 752 a la superficie de la viga sobre la cual se colocará el sensor, aplicar el pegamento loctite 410 a las placas sobre las cuales se monto el sensor ST350 y colocar el sensor sobre la viga. Esto debe realizarse para cada sensor. Debe mantenerse sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos y no se debe

ejercer presión sobre la galga.

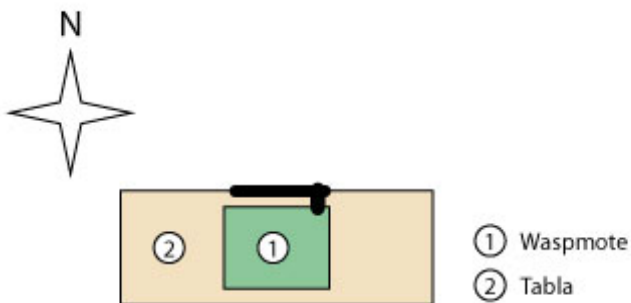
#### Instalación de 5 Wasmotes (Vibraciones)

Los nodos Wasmotes se colocarán en el ala inferior de las 5 vigas en el claro central del puente, de acuerdo con lo marcado en la figura 12. Los nodos se han atornillado previamente a tablas para facilitar su instalación en el puente utilizando prensas de carpinterías como se muestra en la figura 37.



**Figura 43.** Instalación de Nodos en las vigas del puente

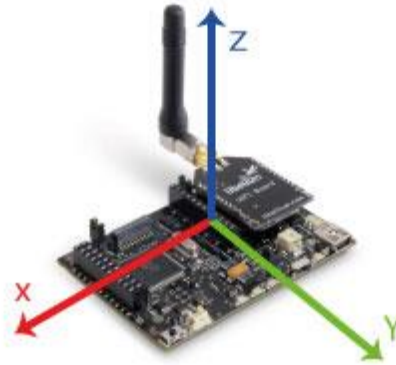
Además es necesario mencionar que los nodos deben estar instalados con la antena en dirección Norte como se muestra en la figura 44.



**Figura 44.** Disposición de nodo con respecto a puntos cardinales

Para la interpretación de los datos es necesario señalar que las mediciones de aceleraciones se hacen en tres ejes x, y y z.

Donde los ejes se distribuyen como se muestra en figura /// con respecto al nodo.



**Figura 45.** Ejes de aceleraciones en el nodo Waspote

Para la identificación de los sensores y sus mediciones se utiliza la siguiente guía:

Nodo Sensor	Eje viga	Aceleración X*	Aceleración Y*	Aceleración Z*	Aceleración Total*
Nodo 1	B	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 2	C	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 3	D	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 4	E	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 5	F	Rojo	Verde	Azul	Blanco

**Tabla 40.** Identificación de nodos Waspotes en el puente

\*Los colores de las aceleraciones mostrados en la tabla (( son los colores con los que estas serán representados en la interfaz de usuario.

Actividades para la instalación de los sensores conectados al CR1000:

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
-----	------	-----------	-------------	---------------












M 03.	08:00	Salida del TEC	GIO	Asistentes: OCU, JES, EDA, OCA, Adm Mant.
M 03.	08:15	Llegada puente	GIO	llevar planta CIVCO, taladro, esmeril
M 03.	08:15	Montaje equipo de acceso	CAR	Instalación escaleras, andamios, tablonos
M 03.	09:00	Limpieza de vigas centrales	OCU	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas laterales - cartago	JES	
M 03.	09:30	Limpieza de vigas laterales - san isidro	JES	
M 03.	10:00	Corte en vía para sistema conteo vehicular	GIO - EDA	
M 03.	11:00	Regreso al TEC	GIO - OCA	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	
V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA	
V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento CR1000	OCA	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	
V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinamicas	OCA	
V 05.	11:00	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:00	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 06.	12:00	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:00	Desmontaje todo equipo	JOC	

**Tabla 41.** Actividades para instalación de sensores conectados al CR1000

## 10.2.4. Muestreo prueba de carga dinámica, caso IV

El cableado de los sensores y el datalogger para los casos de carga III, IV y V son:

## Conexión CR1000

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	Verde	ST350(1)
1L	Blanco	ST350(1)
	Negro	ST350(1)
2H	Transparente	ST350(1)
2L	Verde	ST350(3)
	Blanco	ST350(3)
	Negro	ST350(3)
	Transparente	ST350(3)
	Verde	ST350(4)
3H	Blanco	ST350(4)
3L	Negro	ST350(4)
	Transparente	ST350(4)
4H	Verde	ST350(5)
4L	Blanco	ST350(5)
	Negro	ST350(5)
VX1	Transparente	ST350(5)
	Rojo	ST350(1)
P1	Rojo	ST350(3)
P2	Rojo	ST350(4)
		
5H		
5L		
		
6H		
6L	Verde	ST350(6)
	Blanco	ST350(6)
7H	Negro	ST350(6)
7L	Transparente	ST350(6)
	Verde	ST350(7)
8H	Blanco	ST350(7)
8L	Negro	ST350(7)
	Transparente	ST350(7)
VX2	Verde	ST350(8)
	Blanco	ST350(8)
VX3	Negro	ST350(8)
G	Transparente	ST350(8)
	Verde	ST350(10)
	Blanco	ST350(10)

	Negro	ST350(10)
5V	Transparente	ST350(10)
G	Rojo	ST350(5)
	Rojo	ST350(6)
	Rojo	ST350(7)
SW-12	Rojo	ST350(8)
G	Rojo	ST350(10)
12V		
12V		
G		
C1		
C2		
C3		
C4		
G		
C5		
C6		
C7		
C8		
G		

**Tabla 41. Conexiones al CR1000**

El procedimiento para la recolección de datos se detalla a continuación:

Hora estimada	Actividad	Observaciones	Responsable
11:30 am	Cierre tránsito		OCU - Tránsito
11:30 am	Colocación vagonetas en punto de partida		OCU
11:30 am	Inicio programa 8 ST350.CR! en dataloger		OCA

	CR1000		
11:30 am	Inicio recolección datos de vibración		PEC
11:32 am	Calibración sensores ST350		GIA - OCA
11:35 am	Inicio recorrido sobre puente		OCU
11:36 am	Fin prueba		OCU
11:36 am	Finalización programa 8 ST350.CR1 en dataloger		GIA - OCA
11:36 am	Fin recolección datos vibración		PEC
11:40 am	Apertura tránsito		OCU - Tránsito

**Tabla 42.** Prueba estática, caso IV - actividades



## 10.3. Prueba Dinámica, Caso V

VARIABLES A MEDIR: deformación y vibración

### 10.3.1. Caso de carga

Para el quinto caso de carga, se utilizará el flujo de tránsito normal sobre el puente durante 24 horas.

### 10.3.2. Equipo y herramientas

Chequeo	Cantidad	Descripción	Suministrado por:	Observaciones
	8	Sensores ST350	TEC - eBridge	
	1	Pegamento Loctile	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software RTDaq	TEC - eBridge	
	1	Multímetro	TEC - CIVCO	
	1	Fuente de poder	TEC - Electrónica	
	1	Desatornilladores	TEC - eBridge	
	1	Datalogger CR1000	TEC - eBridge	
	16	Tornillos para metal	TEC - eBridge	
	16	Arandelas	TEC - eBridge	
	16	Placas metal 20X30X2.5mm	TEC - eBridge	
	5	Acelerómetros Waspote	TEC - eBridge	
	1	Computadora con software medición vibración	TEC - eBridge	
	5	Cargadores iPhone	GIA - JOC	
	1	Sistema de conteo vehicular	DIC	
	2	Sensor Reflectivo	TEC-eBridge	
	1	Sensor Magnético	TEC-eBridge	

	1	Nodo Recolector	TEC-eBridge	
	1	Nodo Principal (Gateway)	TEC-eBridge	
	1	Computadora con software	TEC-eBridge	
	1	Cinta Tapa-Goteras	TEC-eBridge	
	1	Tijeras	TEC-eBridge	
	1	Batería Recargable	TEC-eBridge	
	1	Escoba	TEC-eBridge	

**Tabla 43.** Equipo necesario para la prueba del caso V

### 10.3.3. Instalación de sensores



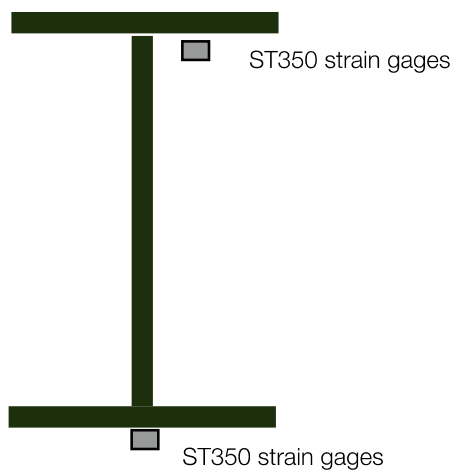
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

**Figura 46.** Ubicación de sensores para el caso V

Procedimientos de instalación:

#### Instalación de 8 ST350

Los sensores ST350 se colocarán en el ala superior e inferior de las vigas de acero en el claro central del puente, de acuerdo a lo marcado en la figura 47.



**Figura 47.** Ubicación de sensores

Para identificar los sensores se utilizará la siguiente guía:

Sensor	Identificación	Eje viga	Ubicación en ala	Color gráfica	Gage Factor
Strain(1)		B	inferior		
Strain(2)		C	superior		
Strain(3)		C	inferior		
Strain(4)		D	superior		
Strain(5)		D	inferior		
Strain(6)		E	superior		
Strain(7)		E	inferior		
Strain(8)		F	inferior		

**Tabla 44.** Identificación de sensores ST350 en el puente

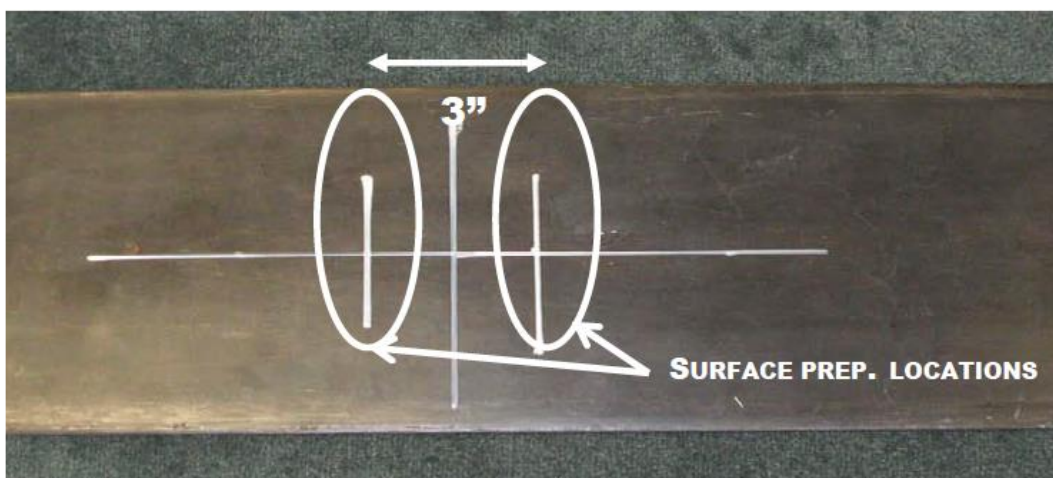
Los sensores se colocan utilizando el pegamento Loctile 410, de acuerdo a la expuesto en la siguiente figura:



**Figura 48.** Montaje de sensores ST350 en vigas

Pasos para la instalación sobre superficie metálica:

1. Previo a la instalación los sensores deben montarse sobre placas metálicas de 20X30X2.5mm utilizando tornillos y arandelas.
2. La superficie de las vigas debe limpiarse, dejando expuesto el acero y eliminando pintura o grasa presente.
3. Una vez limpia la superficie, se debe marcar la viga para colocar el sensor, de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:



**Figura 49.**

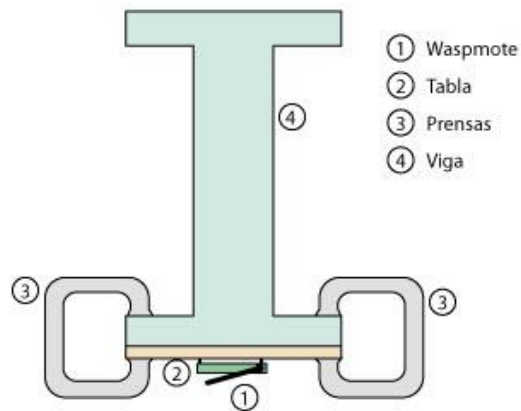
Demarcación para colocar sensor en viga ( fuente manual ST350 bridge diagnostic)

1. Aplicar el pegamento en spray loctite 752 a la superficie de la viga sobre la cual se colocará el sensor, aplicar el pegamento loctite 410 a las placas sobre las cuales se monto el sensor ST350 y colocar el sensor sobre la viga. Esto debe realizarse para cada sensor. Debe mantenerse sujetado el sensor a la viga por lo menos 20 segundos y no se debe

ejercer presión sobre la galga.

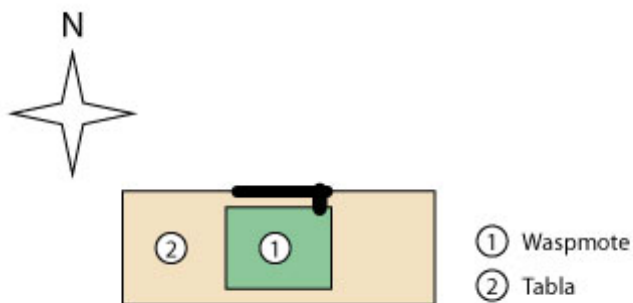
#### Instalación de 5 Wasmotes (Vibraciones)

Los nodos Wasmotes se colocarán en el ala inferior de las 5 vigas en el claro central del puente, de acuerdo con lo marcado en la figura 12. Los nodos se han atornillado previamente a tablas para facilitar su instalación en el puente utilizando prensas de carpinterías como se muestra en la figura 50.



**Figura 50.** Instalación de Nodos en las vigas del puente

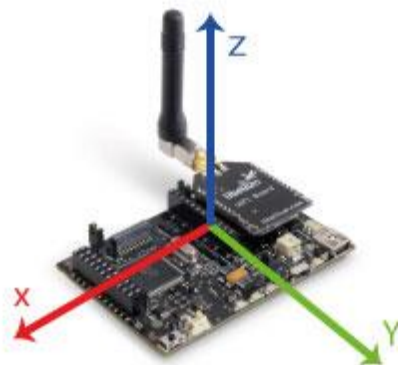
Además es necesario mencionar que los nodos deben estar instalados con la antena en dirección Norte como se muestra en la figura 51.



**Figura 51.** Disposición de nodo con

respecto a puntos cardinales

Para la interpretación de los datos es necesario señalar que las mediciones de aceleraciones se hacen en tres ejes x, y y z. Donde los ejes se distribuyen como se muestra en figura /// con respecto al nodo.



**Figura 52.** Ejes de aceleraciones en el nodo Wasp mote

Para la identificación de los sensores y sus mediciones se utiliza la siguiente guía:

Nodo Sensor	Eje viga	Aceleración X*	Aceleración Y*	Aceleración Z*	Aceleración Total*
Nodo 1	B	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 2	C	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 3	D	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 4	E	Rojo	Verde	Azul	Blanco
Nodo 5	F	Rojo	Verde	Azul	Blanco

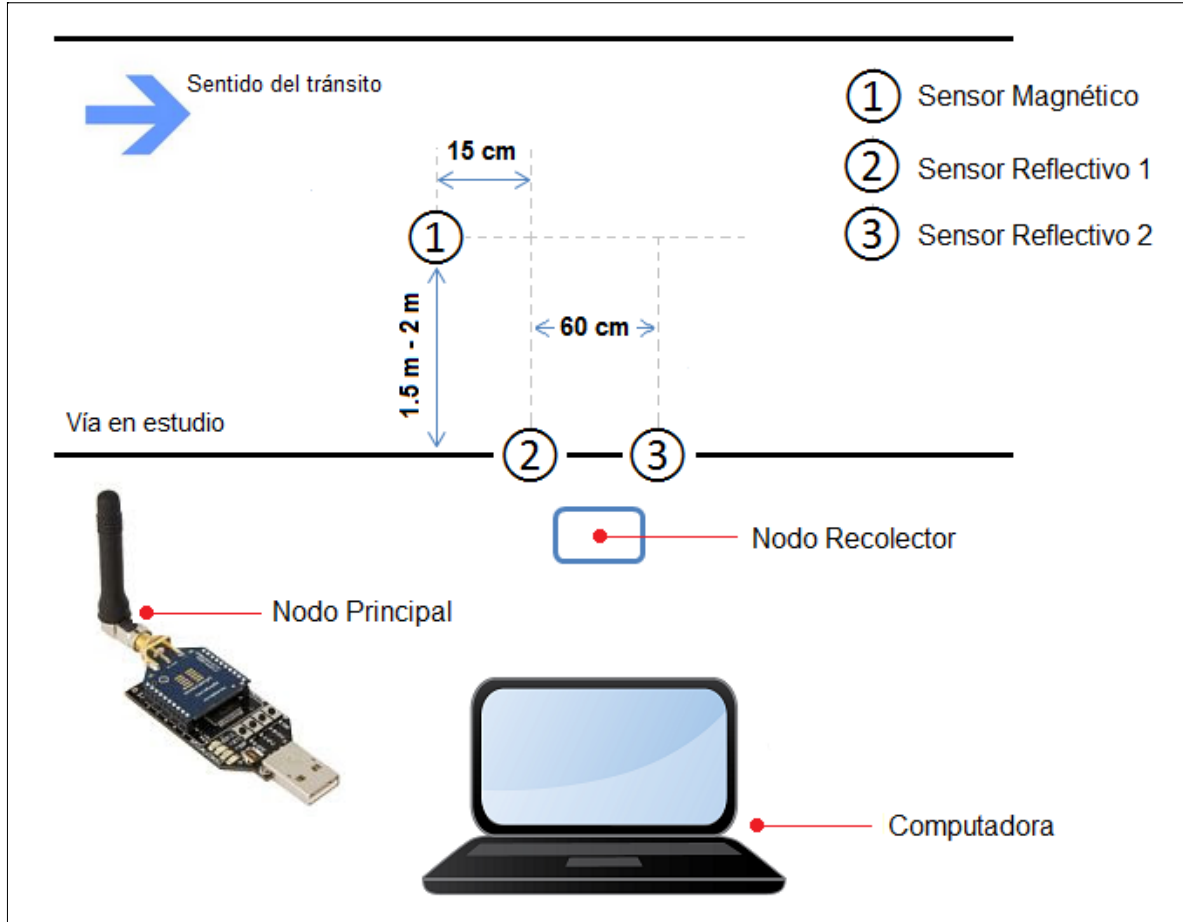
**Tabla 45.** Identificación de nodos Wasp motes en el puente

*\*Los colores de las aceleraciones mostrados en la tabla (( son los colores con los que estas serán representados en la interfaz de usuario.*

#### Instalación del Sistema de Monitoreo Vehicular

El sistema tiene como función general, determinar variables de gran interés respecto al tráfico vehicular, variables como la cantidad total de vehículos que transitan sobre la vía, la velocidad de cada uno de ellos, la cantidad de ejes que presenta y la distancia entre ejes. Además de brindar información con respecto a la fecha y hora en que se presentó el evento, así como también datos de la temperatura del ambiente.

En la siguiente figura se muestra la instalación de cada uno de los sensores y el sistema de recolección sobre la vía de tránsito en estudio.



**Figura 53.** Ubicación del sistema de monitoreo vehicular




Se debe aclarar, que antes de instalar el sistema, es necesario limpiar el área de ubicación de los sensores. Se procede a emplear por ejemplo una escoba con el objetivo de barrer posibles piedras y polvo no deseados que puedan llegar a interferir con las mediciones de los sensores.

Después de limpiar el área, es posible iniciar la instalación con la ubicación del sensor magnético. Para esto, éste debe ubicarse sobre la capa asfáltica y en el centro de la vía utilizando cinta tapa-goteras para fijar el sensor a la superficie de la vía de tránsito.

Posteriormente, se procede a instalar los sensores reflectivos de acuerdo a las distancias especificadas en la fig. 1. La distancia de 60 cm es ajustable a partir de una tabla construida con el fin de definir la distancia idónea entre ambos sensores.

Consecuentemente, se conectan los sensores al Nodo recolector y éste a la batería de 12V recargable. Con este último paso se enciende el sistema en general (Sensores y Nodos), mostrándose una luz verde en cada sensor indicándose así que se encuentran encendidos. Dado lo anterior es necesario programar el funcionamiento del sensor magnético de acuerdo al nivel de sensibilidad a establecerse.

Se aclara que el sensor magnético tiene una sensibilidad máxima de 6, permitiendo definir dicho parámetro desde 1 hasta 6. Para nuestro caso se asignará 6 al nivel de sensibilidad de detección del sistema. El procedimiento de programación de tal sensor se muestra a continuación:

Configuration		Result
Sensitivity Mode	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Double-click” the DPB1 TEACH push button.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Output LED flashes every 2 seconds; sensor is at sensitivity level 1. (When using the DPB1, the sensor always reverts to sensitivity level 1.)</li> </ul>
Adjust Sensitivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>• To increase the sensitivity in increments, “click” the push button again; continue until desired sensitivity level is reached.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Output LED will flash from 1 to 6 times every 2 seconds to indicate sensor’s sensitivity level (e.g., twice to indicate level 2).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Double-click” push button to save setting.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor returns to RUN mode</li> </ul>
Test Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive a vehicle past/over sensor to trip the output; verify Output LED comes ON as expected. Use a small/light vehicle to ensure larger vehicles will be detected later.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adjust the sensitivity as needed.</li> </ul>	
Prepare for Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disconnect DPB1 and hardwire sensor to permanent power supply/output device (user-supplied). See page 8.</li> </ul>	

**Figura 54.** Procedimiento de configuración del funcionamiento del sensor magnético

Además, los sensores reflectivos son ajustados de tal manera que permitan detectar los ejes de los vehículos, esto es posible verificarlo con el encendido ó no de luz amarilla aportada por el sensor. En la fig. 3 se observa la adecuada instalación de los sensores sobre una vía de tránsito.





**Figura 55.** Muestra de instalación de los sensores en una vía de tránsito

Finalmente, se debe conectar el nodo principal a la computadora y con esto seleccionar la aplicación diseñada para la adecuada visualización de los datos generados en tiempo real por el sistema.

Actividades para la instalación de los sensores conectados al CR1000:

Día	Hora	Actividad	Responsable	Observaciones
M 03.	08:00	Salida del TEC	GIO	Asistentes: OCU, JES, EDA, OCA, Adm Mant.
M 03.	08:15	Llegada puente	GIO	llevar planta CIVCO, taladro, esmeril
M 03.	08:15	Montaje equipo de acceso	CAR	Instalación escaleras, andamios, tablonés
M 03.	09:00	Limpieza de vigas centrales	OCU	
M 03.	09:00	Limpieza de vigas laterales - cartago	JES	

M 03.	09:30	Limpieza de vigas laterales - san isidro	JES	
M 03.	10:00	Corte en vía para sistema conteo vehicular	GIO - EDA	
M 03.	11:00	Regreso al TEC	GIO - OCA	
V 05.	05:00	Instalación sensores ST350	GIO - OCA	
V 05.	05:45	Instalación sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	06:30	Instalación VW4420	GIO - OCA	
V 05.	07:00	Instalación CR1000	GIO - OCA	
V 05.	07:15	Alambrado de sensores a CR1000	OCA	
V 05.	08:00	Pruebas funcionamiento CR1000	OCA	
V 05.	09:30	Inicio pruebas carga estáticas	GIO	
V 05.	10:30	Cambio alambrado para pruebas dinamicas	OCA	
V 05.	11:00	Inicio pruebas dinámicas controladas	GIO	
V 05.	12:00	Inicio prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores SR50A	GIO - OCA	
V 05.	12:00	Desmontaje sensores VW4420	GIO - OCA	
V 06.	12:00	Fin prueba dinámica 24 horas	GIO	
V 06.	12:00	Desmontaje todo equipo	JOC	












**Tabla 46.** Actividades para instalación de sensores conectados al CR1000

#### 10.3.4. Muestreo prueba de carga estática, caso V

El cableado de los sensores y el datalogger para los casos de carga III, IV y V son:

Conexión CR1000

Terminal	Se conecta a	Del dispositivo
1H	Verde	ST350(1)
1L	Blanco	ST350(1)

	Negro	ST350(1)
2H	Transparente	ST350(1)
2L	Verde	ST350(3)
	Blanco	ST350(3)
	Negro	ST350(3)
	Transparente	ST350(3)
	Verde	ST350(4)
3H	Blanco	ST350(4)
3L	Negro	ST350(4)
	Transparente	ST350(4)
4H	Verde	ST350(5)
4L	Blanco	ST350(5)
	Negro	ST350(5)
VX1	Transparente	ST350(5)
	Rojo	ST350(1)
P1	Rojo	ST350(3)
P2	Rojo	ST350(4)
		
5H		
5L		
		
6H		
6L	Verde	ST350(6)
	Blanco	ST350(6)
7H	Negro	ST350(6)
7L	Transparente	ST350(6)
	Verde	ST350(7)
8H	Blanco	ST350(7)
8L	Negro	ST350(7)
	Transparente	ST350(7)
VX2	Verde	ST350(8)
	Blanco	ST350(8)
VX3	Negro	ST350(8)
G	Transparente	ST350(8)
	Verde	ST350(10)
	Blanco	ST350(10)
	Negro	ST350(10)
5V	Transparente	ST350(10)
G	Rojo	ST350(5)
	Rojo	ST350(6)
	Rojo	ST350(7)
SW-12	Rojo	ST350(8)
G	Rojo	ST350(10)
12V		

12V		
G		
C1		
C2		
C3		
C4		
G		
C5		
C6		
C7		
C8		
G		

**Tabla 47.** Conexiones al CR1000

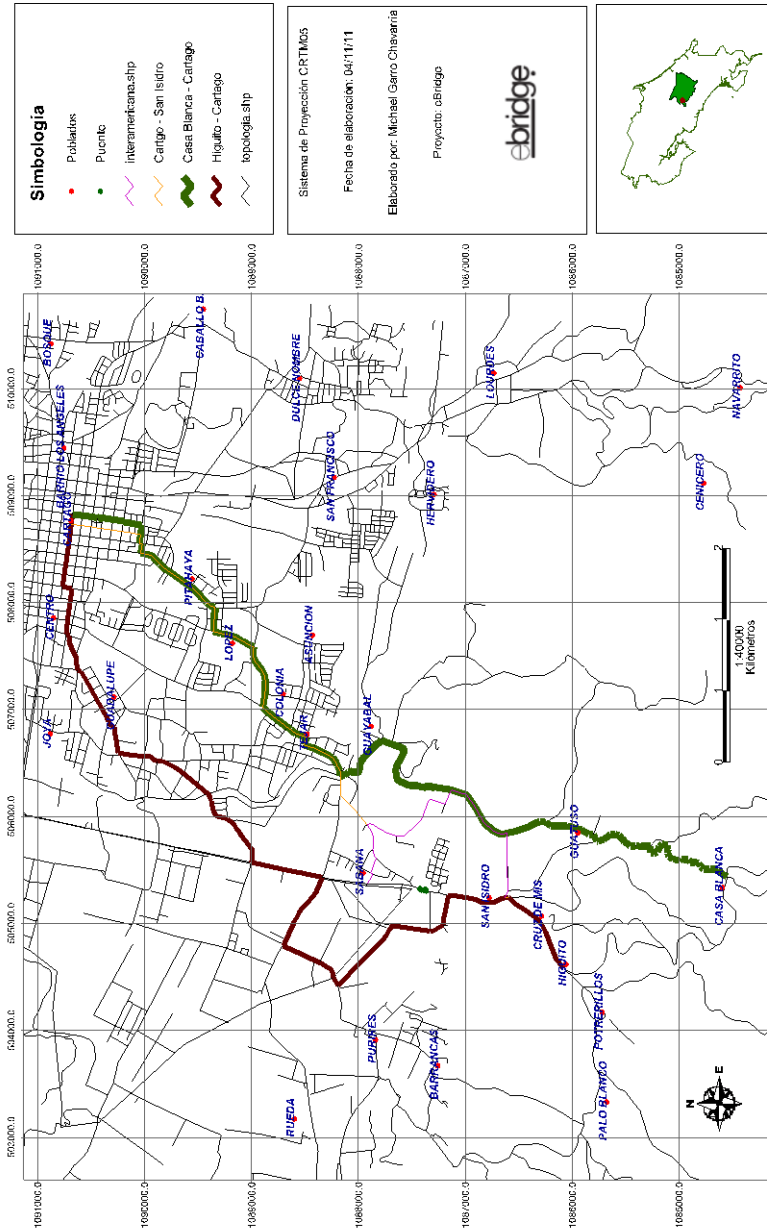
El procedimiento para la recolección de datos se detalla a continuación:

Hora estimada	Actividad	Observaciones	Responsable
12:10 pm (5 octubre)	Inicio programa 8 ST350.CR1 en dataloger		GIA - OCA
12:10 pm (5 octubre)	Inicio recolección datos de vibración		PEC
12:10 pm (6 octubre)	Finalización programa 8 ST350.CR1 en dataloger		GIA - OCA
12:10 pm (6 octubre)	Fin recolección datos vibración		PEC

**Tabla 48.** Prueba estática, caso V - actividades

# 11. Apéndices

## Rutas alternas a puente Río Purire, Cartago, Costa Rica. 2011.



# 12. Colaboradores

Esta prueba se ha podido realizar gracias al trabajo conjunto de una serie de personas e instituciones, por lo tanto el proyecto eBridge agradece a:

Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) - TEC

Departamento de Administración de Mantenimiento - TEC

HOLCIM

CampbellScientific

Policía de Tránsito

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

Municipalidad del Guarco

Guardia Rural del Guarco

OCONY