



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2402>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado*

*Inspection of the damage in the substructure of a bridge made by reinforced concrete beams*

*Inspeção de danos à subestrutura de uma ponte de viga de concreto armado*

Pedro Luis Illescas-Capelo <sup>I</sup>  
[pedro.illescas.53@est.ucacue.edu.ec](mailto:pedro.illescas.53@est.ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-1120-2460>

Juan Sebastián Maldonado-Noboa <sup>II</sup>  
[jmaldonadon@ucacue.edu.ec](mailto:jmaldonadon@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>

**Correspondencia:** [pedro.illescas.53@est.ucacue.edu.ec](mailto:pedro.illescas.53@est.ucacue.edu.ec)

\***Recibido:** 30 de septiembre de 2021 \***Aceptado:** 20 de octubre de 2021 \* **Publicado:** 16 de noviembre de 2021

- I. Doctor Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismo resistentes. Unidad Académica de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Azuay, Ecuador.
- II. Coordinador Académico de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismo resistentes, Unidad Académica de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Azuay, Ecuador.

## Resumen

En la presente investigación se presenta un resumen de inspecciones periódicas realizadas en un puente de vigas rectangulares de hormigón armado de 25m de longitud con grietas en sus estribos construido en el año 2003. A pesar que todos los elementos estructurales presentan problemas, se considera como el más significativo, la condición de los estribos. Los estribos presentan grietas a 45 grados, producidas por asentamientos diferenciales en sus apoyos, provocadas por la sedimentación del material fino arrastrada por el caudal del Río. Las fisuras alcanzan los 15cm de ancho y 80cm de profundidad, a lo ancho de todo el estribo, por lo que se considera importante el monitoreo de la salud estructural del puente mediante inspecciones periódicas. Se instalaron fisurómetros en las grietas de los estribos, y se realiza un inventario de fisuras global del puente. Se plantean medidas de mantenimiento preventivo y correctivo de la estructura a corto y mediano plazo.

**Palabras clave:** Puente; fisurómetros; estribos; mantenimiento preventivo; mantenimiento correctivo.

## Abstract

This paper presents a summary of periodic inspections carried out on a 25m long reinforced concrete rectangular beam bridge with cracks in its abutments built in 2003. Although all the structural elements present problems, it is considered as the more significantly, the condition of the abutments. The abutments present cracks at 45 degrees, produced by differential settlements in their supports, caused by the sedimentation of the fine material dragged by the river flow. The cracks reach 15cm wide and 80cm deep, across the entire abutment, so it is considered important to monitor the structural health of the bridge through periodic inspections. Crack gauges were installed in the abutment cracks, and a global crack inventory of the bridge is carried out. Preventive and corrective maintenance measures are proposed for the structure in the short and medium term.

**Keywords:** Bridge, cracks, stirrups, preventive maintenance, corrective maintenance.

## Resumo

Esta pesquisa apresenta um resumo das inspeções periódicas realizadas em uma ponte de viga retangular de concreto armado com 25m de comprimento e fissuras em seus encostos construída em 2003. Embora todos os elementos estruturais apresentem problemas, considera-se como mais

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

---

significativo o estado dos encostos. Os encontros apresentam fissuras a 45 graus, produzidas por recalques diferenciais em seus apoios, causados pela sedimentação do material fino arrastado pela vazão do rio. As fissuras atingem 15cm de largura e 80cm de profundidade, em todo o pilar, por isso é considerado importante monitorar a saúde estrutural da ponte por meio de inspeções periódicas. Medidores de rachadura foram instalados nas rachaduras do pilar e um inventário global de rachaduras da ponte é realizado. São propostas medidas de manutenção preventiva e corretiva para a estrutura a curto e médio prazo.

**Palavras-chave:** Bridge; medidores de fissura; estribos; mantimento preventivo; manutenção corretiva.

### Introducción

Esta investigación recopila información de inspecciones periódicas realizadas en un puente de vigas de hormigón armado con principal énfasis en las grietas en los estribos de un puente de vigas de hormigón armado construido en el año 2003. A pesar que todos los elementos estructurales presentan problemas, se considera como el más significativo, la condición de los estribos. Los estribos presentan grietas a 45 grados, producidas por asentamientos diferenciales en sus apoyos, provocadas por la sedimentación del material fino arrastrada por el caudal del Río.

### Antecedentes

La ciudad de Cuenca, Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, se ubica en la provincia del Azuay, situada entre las coordenadas 2° 53' 57" sur y longitud 79° 00' 55" oeste. Al Oeste colinda con las provincias del Oro y Guayas, y al Este con las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago. Esta ciudad se encuentra a 2.538 m.s.n.m, tiene una superficie aproximada de 15.730 hectáreas. Cuenta con una población actual de 580.000 habitantes aproximadamente. La provincia del Azuay se divide en 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales(1).

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

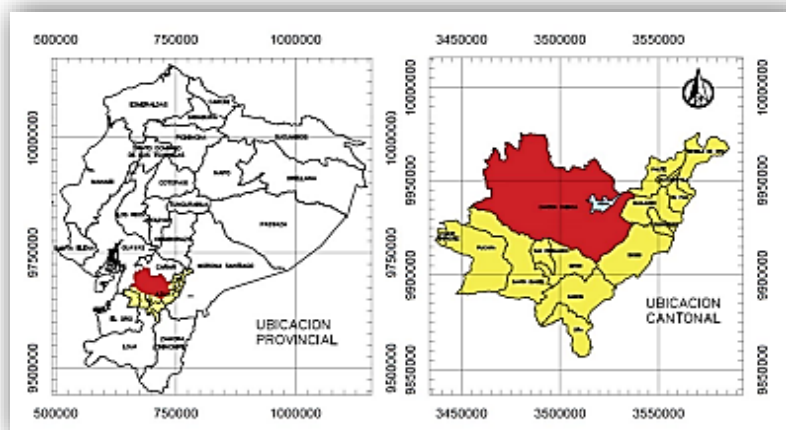
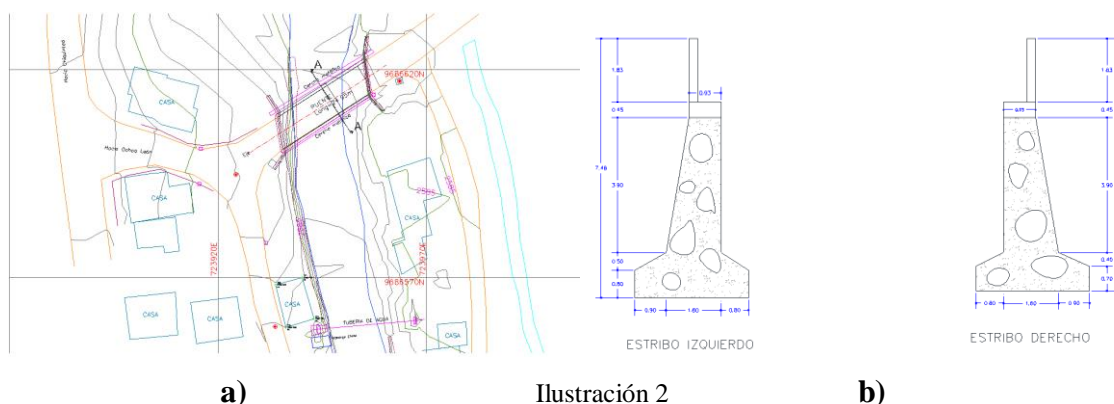


Ilustración 1 División política y administrativa  
Fuente: (1)

El tiempo de construcción y de servicio de este puente es de 18 años tomando en consideración que el puente fue entregado a inicio del año 2003.

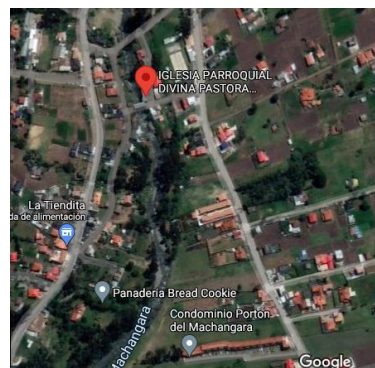


En la **ilustración 2**: a) se observa el puente con vista en planta mientras tanto en la ilustración b) Se muestra el detalle en elevación de los estribos del puente.

La parroquia rural del cantón Cuenca, Sidcay, se ubicada al noreste a una distancia aproximada de 15 Km de la ciudad. La parroquia tiene una extensión aproximada de 1652,5 hectáreas. Limita al norte con la parroquia Octavio Cordero Palacios, al Sur con la parroquia Ricaurte y la parroquia Llaqueo, al

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

este con la parroquia Llaoco y la parroquia Solano de la provincia del Cañar y al oeste con las parroquias de Checa y Chiquintad y con la parroquia urbana Machángara del cantón Cuenca(2).



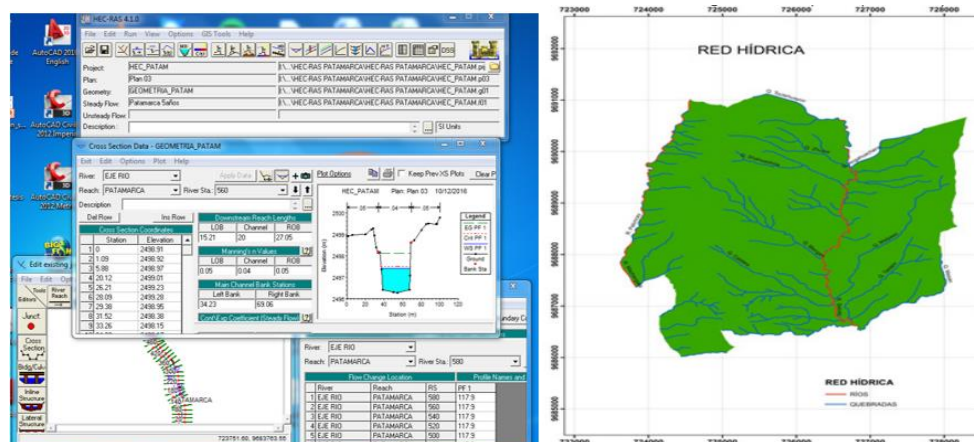
En la **ilustración 3**: Se muestra el Puente Ochoa León y su ubicación en Google Earth

## Características físicas geológicas y geomorfológicas

### Hidrografía

El río Machángara pertenece a la cuenca del Paute y está formada por el Río Sidcay, Río Machángara y Río Paluncay, mismos que son alimentados de las quebradas llamadas Q Masán, Q. Caldera, Q. Masán, Q. Malpaso Q. Angahuachana, Q. Mangán, Q. Shahuashira, Q. Shampushuayco, Q. Tasupu, Q. Toctehuayco, Q. Zhumir y otras quebradas S/N (3).

El caudal en el puente Ochoa León tiene un valor de 528.04 m<sup>3</sup>/s con un periodo de retorno de 100 años. El calado habitual que se encuentra en la zona de estudio es de 1m alcanzando un máximo de hasta 3 con precipitaciones altas (3).



a)

**Ilustración 4**

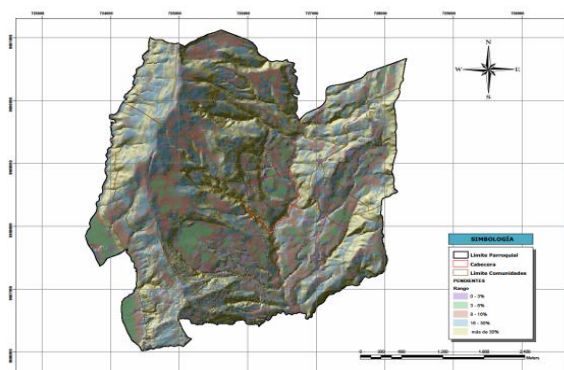
b)

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

En la **ilustración 4**: a) se muestra el calado máximo que puede llegar a tener el Río con un periodo de retorno de 100 años y la figura b) presenta la red hidrográfica del río Machángara (3).

### Geomorfología

El 36.7 % del territorio tiene relieves altos, el 30.4% del territorio tiene pendientes entre el 16% y 30%, un 21.7 % posee pendientes que oscilan entre el 9% y 16%, un 7.3% del territorio con pendientes entre el 4% y 8% y el 3.9 % del terreno se caracteriza por tener relieves bajos y planos (4).



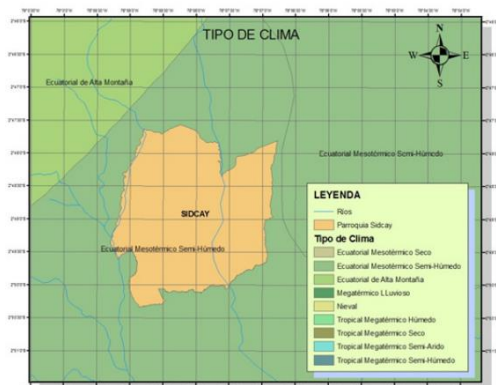
**Ilustración 5:** Mapa de pendientes de Sidcay (4)

### Geología

En la parroquia Sidcay, al suroriente, en la comunidad del Guabo, se encuentran las formaciones estratigráficas denominadas: Formación Mangan y Formación Turi, compuestas por lulitas, arenas, arcillas tobas (5).

### Clima

Tiene un clima que se encuentra en los valles de la sierra, denominado Ecuatorial Mesotérmico semihúmedo. Con temperaturas que varían entre los 12 °C y 14°C (6).



**Ilustración 6:** Mapa de los tipos de clima de Sidcay (4)



## **Metodología**

### **Situación actual:**

Se revisó el estado estructural de la sub-estructura del puente Ochoa León sobre el Río Machángara, mediante inspecciones en campo y datos obtenidos de estudios anteriores, con el fin de identificar los riesgos naturales o antrópicos que causan que los elementos de los estribos estén agrietados.

Se observó también que la altura de crecida del río, sobrepasa la altura natural de las orillas y se evidenció la formación de áreas de inundación a lo largo del margen izquierdo considerando la ubicación aguas abajo, esto ocasiona procesos de erosión en los márgenes, siendo mayor en zonas del río que presentan curvaturas debido a la cantidad de energía que se produce en los eventos de crecida.

### **Información primaria**

#### **Aporte teórico – metodológico**

Se recopila información entregada por el departamento de gestión de riesgos del municipio los cuales estudios, se recopila información hidrológica e hidráulica del río Machángara y se modela la estructura con software SAP2000.

No se realizaron estudios geotécnicos hidrológicos e hidráulicos y geológicos los cuales son fundamentales para determinar parámetros específicos sobre el origen de las grietas de los estribos del puente.

Mediante observaciones se evidencia la presencia de grietas ubicadas a 1.9m debajo del apoyo de las vigas que atraviesan el estribo, estas grietas están ubicadas en la cara frontal con un ancho promedio de 15cm. Los elementos del puente no poseen una capacidad estructural para soportar cargas, sin embargo, determinar la salud estructural resulta complejo en un elemento que ya ha sido reforzado.

#### **Información obtenida de fuentes secundarias**

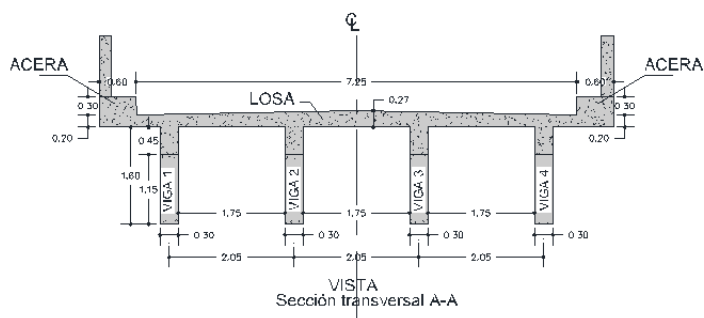
La elección del área de estudio se dio gracias a un análisis de vulnerabilidad que presenta esta zona y podría afectar a la comunidad circundante. Los datos analizados son de tipo secundario. Los datos del GAD de Cuenca y los datos tomados en campo nos brindaron un análisis más relevante de estos estudios.

#### **Ensayos de campo y toma de muestras**

#### **Hormigón para vigas y columnas**

El hormigón para vigas y columnas se realizó con una resistencia a compresión de 210kg/cm<sup>2</sup>. Para esto se extrajeron 4 núcleos. 3 de las vigas y uno núcleo de la losa (1)

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado



LABORATORIO DE SUELOS  
 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CILÍNDRICA

PROYECTO: Estudio Integral de Gestión de Riesgos de la Cuenca Baja del Río Machangara (Evaluación Estructural del Puente Ocho Lado)  
 CONTRATISTA: Ing. Mario Azanza  
 FISCALIZADOR: Ing. Echev. Guzmán  
 FECHA: 27 de Septiembre de 2016

Fecha de Rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg.)	Resistencia Nominal (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Especificada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Especificada a 4 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Especificada a 14 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Especificada a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observación	Descripción
27/09/2016	81,71	24500	300	87,507	157,5	210	210	Cumple	Losa Puente
27/09/2016	81,71	16130	197	87,507	157,5	210	210	No Cumple	Viga 1
27/09/2016	81,71	19930	237	87,507	157,5	210	210	Cumple	Viga 2
27/09/2016	81,71	22770	279	87,507	157,5	210	210	Cumple	Viga 4

Ing. Cristina Vialto  
 INGENIERA EN GEOTECNIA  
 MATRÍCULA 107-02-09832

a)

**Ilustración 7**

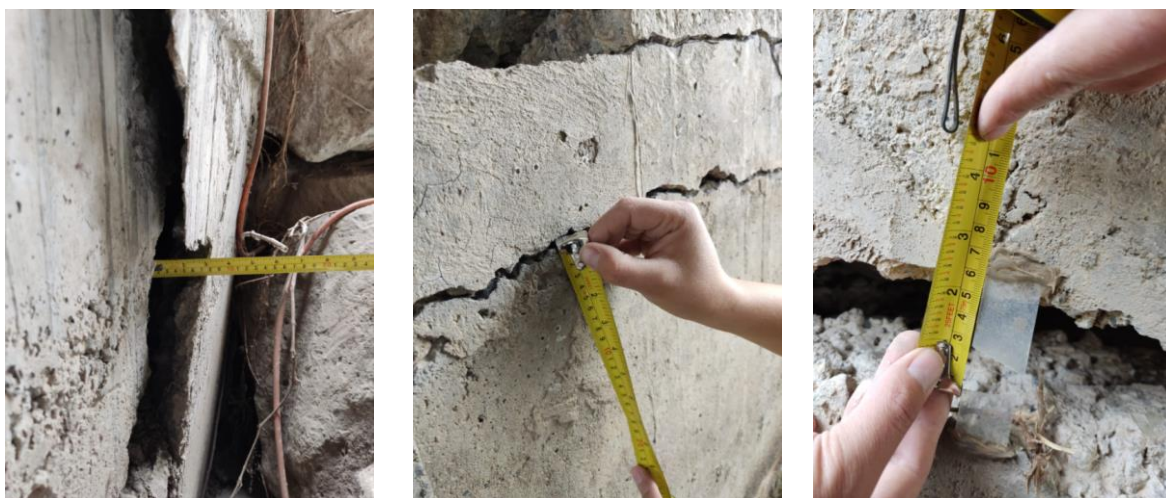
b)

En la **ilustración 7**: a) se observan los detalles de la sección transversal del Puente mientras que en la figura b) los ensayos de hormigón de los diferentes elementos de la estructura (2).

Levantamiento de patologías que presenta la estructura:

### Estribos

Se evidencia la presencia de grietas ubicadas a 1.9m bajo el apoyo de las vigas que atraviesan todo el estribo, ubicadas en la cara frontal, las cuales tienen un ancho promedio de 6cm.



**Ilustración 8**

**Ilustración 8:** En las presentes imágenes se muestra las diferentes medidas a las grietas de los estribos tomadas por el autor de la investigación.

### Vigas Fisuras de Corte

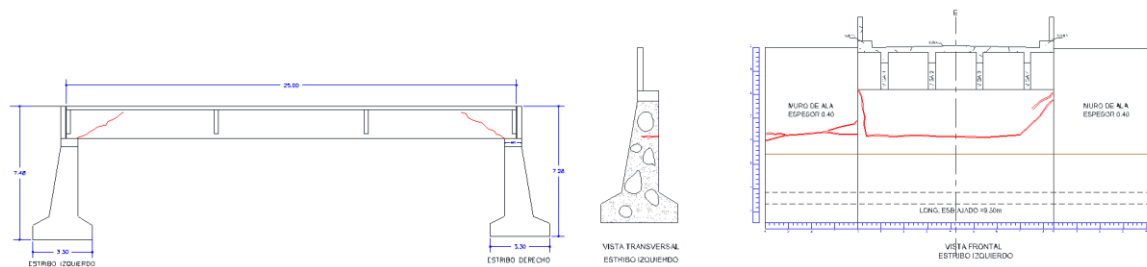
Existe la presencia de fisuras de corte (Grieta a 45 grados) en las 4 vigas, estas fisuras parten desde el borde de la pantalla del estribo y se desarrollan a lo largo de toda la altura de la viga.



## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado



a)



b)

Ilustración 9

c)

**ilustración 9:** En las presentes imágenes mostramos las siguientes características: a) las fallas de corte en las vigas principales del puente, b) la sección longitudinal del puente con la ubicación de las fallas a cortante en las vigas y c) las grietas longitudinales del estribo derecho (2).  
Agrietamiento por excesiva separación de estribos y recubrimiento inadecuado:

Ilustración 10



a)



b)



c)

Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

**Ilustración 10:** se aprecia en las imágenes a y c, falta de recubrimiento, corrosión y separación excesiva de los estribos, **b)** grieta longitudinal en todo el ancho del estribo derecho



a) **Ilustración 11** b)

**Ilustración 11:** Estas imágenes a y b, nos representan el estado actual que tiene el puente mostrando, sus recubrimientos y anchos de grietas, en los estribos derecho como izquierdo. Las mismas que fueron tomadas por el autor.

## Resultados

Se analizó la información proporcionada por la Dirección de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Cuenca, entidad que realiza mediante una consultoría la evaluación del puente en el año 2017, evidenciando la presencia de grietas en los estribos a 1.90 m bajo el apoyo de las vigas que atraviesan todo el estribo, ubicadas en la cara frontal, las cuales tenían un ancho promedio de 6 cm. Desde el año 2017 a octubre del 2021, fecha en donde se realiza esta investigación, ha transcurrido cuatro años, y se detecta un incremento del ancho de las fisuras con un ancho promedio de la cara frontal de las grietas de 10 cm y cara posterior de 6 cm, y profundidad de las grietas que varía entre 34 cm y 68 cm, datos tomados mediante aparatos de precisión como es el equipo de estación total.

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

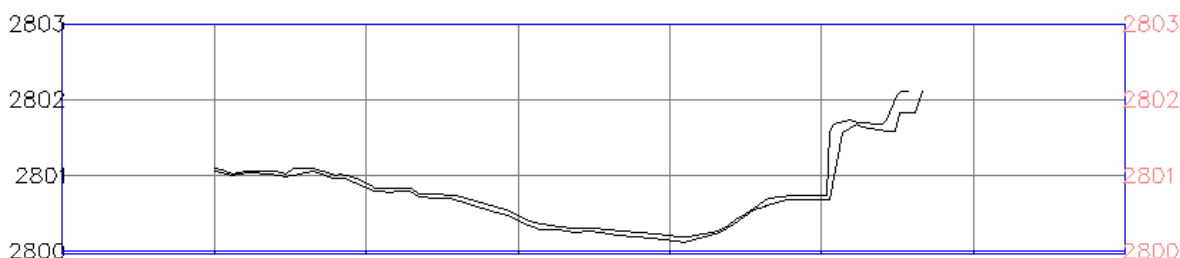


**Ilustración 12**

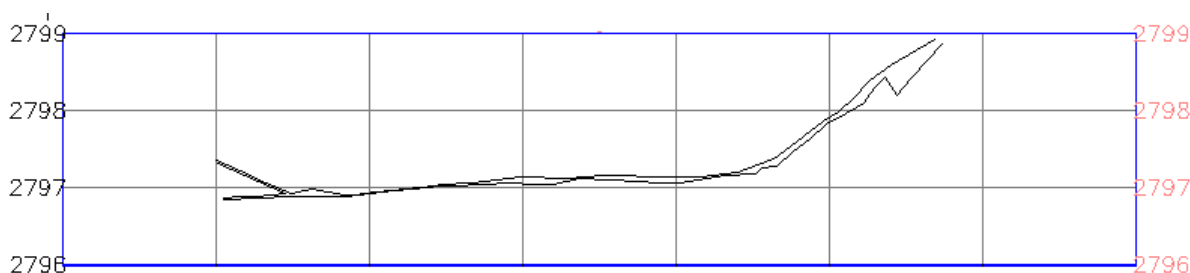
**Ilustración 12:** levantamiento de las grietas del estribo derecho e izquierdo, mediante equipo de precisión como es la Estación Total.

Compilando los datos se obtiene un perfil actual de las grietas existentes en los estribos:

Estribo Derecho



Estribo Izquierdo



Se colocó fisurómetros en cada estribo del puente, con la finalidad de tener un monitoreo permanente sobre las aberturas de las grietas, mismo que servirá para futuras investigaciones de carácter académico y toma de decisiones para el Gobierno local.

Como medida preventiva de manera inmediata se debería restringir el tráfico y permitir solo el ingreso a vehículos livianos, no se recomienda una reparación de las grietas existentes ya que los estribos

## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

---

carecen de capacidad estructural para absorber los esfuerzos de tracción, evidenciándose el deterioro progresivo, que si no se toma acciones inmediatas provocará el colapso de la estructura.

En las diferentes inspecciones realizadas a la estructura se pudo verificar un deterioro avanzado en la superestructura del puente existiendo patologías en las vigas como: falta de recubrimiento en la cara inferior de la viga, ocasionando corrosión en acero longitudinal y transversal, existencia de fisuras de corte.

De la información proporcionada por la Dirección de Gestión de Riesgos, respecto a estudios hidrológicos realizados del río Machángara, específicamente en el sector del puente Ochoa León, se determinó, que en un periodo de retorno de 25 años existen grandes áreas de inundación. Al existir condiciones hidrometeorológicas extremas el caudal sobrepasa la altura de las orillas, obteniendo la velocidad crítica del flujo de ( $5.6 \text{ m.s}^{-1}$ ), ocasionando acelerados procesos de erosión, que afecta directamente a los estribos del puente.

La infraestructura existente se compone de:

Hormigón Ciclópeo: 60% hormigón  $180 \text{ kg/cm}^2$ , 40% piedra bola de río

Hormigón de vigas y losa:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

Acero de refuerzo: Varillas corrugadas de acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Peso específico del relleno:  $2000 \text{ kg/m}^3$

Ángulo de fricción interna relleno:  $30^\circ$

Se recomienda la construcción de los estribos con hormigón armado y muros de protección de esta manera se evitará la socavación y erosión por los diferentes aumentos de caudal.

### **Recopilación de información**

#### **Geológica**

Se obtuvo las propiedades del suelo y sus características, la ocurrencia del movimiento a lo largo de planos débiles en su estructura, también llamada discontinuidad (7).

#### **Hidrología**

El río Machángara, presenta caudales cambios bruscos en su caudal por lo que se considera también las precipitaciones (8).

Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

Saucay							
Ecuaciones $t < 70$ min			$I = A(t+C)^B$	Ecuaciones $t \geq 70$ min			
T (Años)	A	B	C	T (Años)	A	B	C
2	2469,1	-1,07111	12,9	2	1233,3	-0,94042	3,4
3	3210,4	-1,10202	13,8	3	1206,3	-0,91689	0,6
5	4328,3	-1,13668	14,8	5	1203,1	-0,89370	-2,2
10	6322,6	-1,18149	16,1	10	1187,2	-0,86314	-5,8
15	7872,7	-1,20856	16,9	15	1168,2	-0,84483	-7,9
20	9086,7	-1,22575	17,4	20	1202,6	-0,83971	-8,6
25	10157,9	-1,23939	17,8	25	1210,6	-0,83304	-9,4
50	14172,5	-1,28031	19	50	1238,3	-0,81380	-11,7

Estación	IdTR				
	Tiempo Retorno (Años)				
	5	10	25	50	100
El Labrado	2.24	2.95	4.16	5.35	6.85
Huagrahuma	0.99	1.74	3.64	6.33	10.97

Las presentes tablas nos muestran los diferentes datos de intensidades de lluvia producidos a un periodo de retorno de 100 años (8).

### Restricciones del estudio

El estribo derecho está restringido del análisis debido al limitante económica; en consecuencia. El levantamiento de información primaria también se afectó. De la misma manera se prohibió el ingreso para continuar realizando Por lo que los moradores impidieron el paso indicando que si se realizaban esos análisis después de un tiempo serian desalojados de sus hogares cercanos a este puente.

Para el estudio de la grieta del estribo del puente, se realizó un análisis de la dinámica de la falla, con el uso de fisurómetros con la finalidad de evaluar si existen desplazamientos y cuanto afectan. Los fisurómetros se constituyen por dos láminas de material acrílico, la una lámina tiene un cuadrante con un sistema de coordenadas cartesianas y la otra una cruz. Estos fisurómetros se colocaron cruzando la grieta, y se capturó los desplazamientos con direcciones horizontales.

Una vez consolidado y procesado la información que se obtuvo en campo, se realizó la determinación del tipo de falla que se produjo en el estribo, y se propuso un modelo de estribo de hormigón armado considerando los datos obtenidos (geotécnico, geológico, hidráulico, situación actual del puente). Con base en estos estudios se planeó un procesamiento amigable permitiendo al personal técnico y personal no especializado generar y organizar información respecto a este tipo de fallas en los estribos de los puentes, y su evaluación respecto a costos para una posible reparación, insumos que serán de utilidad para la toma de decisiones en caso de que el GAD Municipal del Cantón Cuenca realice una



## Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

---

nueva valoración del puente ya que en la actualidad el sector ha tenido un asentamiento poblacional considerable y dicho puente es un punto importante de conectividad.

### Conclusiones

- Las grietas de la infraestructura en el estribo derecho y izquierdo tienen un ancho promedio de 6cm.
- Los estribos tienen una separación al centro de 50cm y el recubrimiento no existe en la viga principal.
- La viga 1 no cumple con la resistencia mínima de diseño con un valor de 197kg/cm<sup>2</sup>.
- Se tiene grietas a 45 grados en las 4 vigas principales del puente en sus extremos.
- Debido a las altas precipitaciones que conllevan a aumentos bruscos de caudal se produjo un arrastre de sedimentos provocando agrietamientos en la parte frontal del estribo derecho.
- El mal uso de la normativa en relación a la separación de los estribos y recubrimientos mínimos han provocado la corrosión de los aceros de refuerzo. Estos efectos también se ven afectados al momento de incrementar el calado de agua en la zona de estudio.
- La aparición de grietas de corte a 45 grados es una clara evidencia que los estribos no cuentan con un seguimiento, normalizado y regulado óptimo.
- Se recomienda una evaluación de la salud estructural a detalle de elementos estructurales: vigas, tablero y estribos, se debería utilizar instrumentos tecnológicos y sensores IOT
- Se recomienda un mantenimiento correctivo para extender la vida útil de los elementos. Se puede usar inyecciones de grout en los estribos y reforzamiento con fibras de carbono en las vigas.
- El puente debería ser remplazado en un futuro no lejano, a pesar de no cumplir su vida útil.

### Referencias

1. León GM. Proyecto SIGTierras: Aplicación en la parroquia Sidcay, cantón Cuenca, Provincia del Azuay. Universidad de Cuenca; 2016.
2. GAD Cuenca. Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Cuenca. Municipalidad de Cuenca; 2011. 98–99 p.
3. León GM. Doctoral dissertation, Universidad de Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca;

Inspección de daños en la subestructura de un puente de vigas de hormigón armado

---

2016.

4. Collaguazo GM. Aplicación en la parroquia Sidcay, cantón Cuenca, Provincia del Azuay [Internet]. 2016 [cited 2021 Oct 27]. Available from: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26218/1/tesis.pdf>
5. Cooperación Ecuador-Suiza. Prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador (Proyecto PRECUPA). 1998;
6. Fernández de Córdova, J. Webster CJ, Rodríguez Y. Primeros resultados de la red actual de monitoreo hidrometeorológico de Cuenca, Ecuador [Internet]. 2016 [cited 2021 Oct 27]. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382016000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000200004)
7. Kvashuk SV, Smyshlyaev B. Geological-engineering and Geotechnical Issues Concerning the Function of the Railway Bridge Across the Amgun' River Operated by the Far Eastern Railway. 2017;232–8. Available from: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.037>
8. Raissi M, Perdikaris P, Karniadakis GE. Multistep Neural Networks for Data-driven Discovery of Nonlinear Dynamical Systems. 2018 Jan 4 [cited 2021 Oct 28]; Available from: <https://arxiv.org/abs/1801.01236v1>