



PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA)

EIC-Lanamme-INF-1103-2023

INFORME SOBRE ASESORÍA TÉCNICA CON RELACIÓN A LOS BASTIONES DEL PUENTE CEBADILLA - OROTINA

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica

Agosto 2023



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.



Información técnica del documento

1. Informe EIC-Lanamme-INF-1103-2023		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe sobre solicitud de criterio de condición de los bastiones del puente Cebadilla-Orotina		4. Fecha del Informe: Agosto 2023
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, de Tucurrique, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen Este informe presenta los resultados del proceso de análisis desarrollado para atender la solicitud de asesoría técnica planteada por parte de la Municipalidad de Orotina mediante el oficio MO-A-0230-21-2020-2024 de fecha 11 de marzo de 2021 relativa a la construcción de los bastiones del puente Cebadilla sobre Quebrada Pozón en la ruta cantonal 2-09-048. A partir del estudio de la información aportada por la Municipalidad, revisión de bibliografía relativa al tema y una inspección de campo se presentan los resultados de esta asesoría planteadas en el oficio de consulta.		
8. Palabras clave Inspección de puentes, Orotina, Puente Cebadilla.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Número de páginas: 25
11. Preparado por: Ing. Josué Quesada Campos, MEng. Unidad de Gestión Municipal _____ Fecha / /	12. Revisado por: Ing. Erick Acosta Hernández Coordinador Unidad de Gestión Municipal _____ Fecha / /	13. Revisado por: Ing. Julian Trejos Villalobos MSc. Coordinador Unidad de Puentes _____ Fecha / /
14. Revisado por: Ing. Ana Luisa Elizondo Salas MSc. Coordinadora PITRA _____ Fecha / /	15. Revisado por: Lic. Giovanni Sancho Sanz Asesor legal LanammeUCR _____ Fecha / /	



Índice de Contenidos

1. Introducción	5
2. Objetivos	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	6
3. Alcance del informe	6
4. Limitaciones	6
5. Metodología	7
6. Antecedentes	8
6.1 Descripción del puente	8
6.2 Revisión documental	8
7. Análisis bibliográfico y normativo de bastiones de gravedad.....	13
7.1 Información bibliográfica sobre diseño de bastiones de gravedad	13
7.2 Densidad de los materiales	14
7.3 Capacidad ante esfuerzos de tracción producto de la flexión en muros de gravedad	14
7.4 Durabilidad de los materiales.....	15
7.5 Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.....	15
7.6 Manual de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes CR-2010.....	16
7.7 Manual de especificaciones para el diseño de puentes AASHTO LRFD 2012	17
8. Inspección de campo.....	18
9. Análisis de información recopilada	21
10. Respuestas a consultas específicas	22
11. Conclusiones.....	23
12. Recomendaciones	24
13. Referencias.....	25



Índice de Tablas

Tabla 1: Documentos aportados por la Municipalidad de Orotina al LanammeUCR	8
Tabla 2: Resumen de resultados de resistencia de concretos a 28 días (informe 01-0606-2018)	10
Tabla 3: Resumen de resultados de resistencia de concretos a 28 días (informe 01-0951-2018)	11



1. Introducción

En este documento se presenta la respuesta al oficio MO-A-0230-21-2020-2024 de fecha 11 de marzo de 2021 y sus anexos. El oficio mencionado consulta cuál de las siguientes dos opciones tiene mayor capacidad estructural entre concreto con resistencia a la compresión de 140kg/cm^2 o concreto tipo ciclópeo con resistencia nominal de 140kg/cm^2 para la construcción de los bastiones de este puente. También consulta si el uso del concreto con resistencia a la compresión de 140kg/cm^2 , en lugar del concreto ciclópeo con resistencia 140kg/cm^2 en bastiones compromete la vida útil, estabilidad o seguridad del puente construido.

Como parte del proceso de generación de este informe se ha procedido a una revisión de la documentación aportada por parte de la Municipalidad de Orotina; así como de la información técnica existente a nivel nacional y las principales referencias internacionales sobre el tema. Adicionalmente se realizó una gira de inspección de campo realizada el día 24 de mayo de 2021.

Las conclusiones planteadas en este informe son producto del estudio del caso y con base en la información de referencia existente, las mismas han sido realizadas por personal de la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR, como parte de la asesoría técnica solicitada por la Municipalidad de Orotina y en apego a las funciones asignadas por la Ley 8114 y sus reformas a este laboratorio en materia de evaluación de obra vial.

No se encontró evidencia bibliográfica que demuestre que existe diferencia técnica apreciable en las propiedades mecánicas de ambos materiales, ni de bastiones construidos con estos. Por lo tanto, se puede concluir que tanto la vida útil, estabilidad y seguridad del puente serían los mismos para bastiones de ambos materiales.

Por otra parte, el AASHTO LRFD 2012 presenta especificación para concreto masivo, el cual indica que debe tener una resistencia a la compresión de 173kg/cm^2 . No se presentan especificaciones para concreto ciclópeo. Asimismo, dicha normativa indica que la resistencia por si misma no es garantía de una adecuada durabilidad, ya que esta última está dominada por la relación a/c.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Brindar una asesoría técnica a la Municipalidad de Orotina para atender la consulta sobre cuál de las siguientes opciones tiene mayor capacidad estructural: el concreto masivo con resistencia 140kg/cm^2 o el concreto ciclópeo con resistencia 140kg/cm^2 en los bastiones del puente de Cebadilla. Asimismo, determinar si el uso del concreto masivo con resistencia 140kg/cm^2 respecto al concreto ciclópeo con resistencia 140kg/cm^2 compromete la vida útil, estabilidad o seguridad del puente construido.



2.2 Objetivos específicos

- Revisar la documentación aportada por parte de la Municipalidad, sobre la data específica del puente sobre el río Cebadilla, en concordancia con las principales normativas nacionales e internacionales aplicables.
- Mostrar los resultados de la inspección de campo realizada a los bastiones del puente.
- Analizar las implicaciones del uso de concreto masivo y concreto ciclópeo en bastiones de puentes.

3. Alcance del informe

El análisis de la información e inspección al puente se enfoca principalmente a la zona del cuerpo principal de los bastiones y, específicamente, a las posibles implicaciones que tuvo el cambio del tipo de concreto utilizado para su construcción, al pasarse de un concreto tipo ciclópeo según lo indicado en los planos originales del puente a un concreto convencional. De tal manera que otros posibles cambios y deficiencias que pudiera tener el puente no serán objeto de este análisis detallado ni han sido el énfasis del proceso de inspección en campo.

No se han realizado muestreos del material constituyente de los bastiones para verificar sus propiedades mecánicas y de resistencia, por lo que se tomarán como referencia los valores reportados en la información de control de calidad y ejecución de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto para determinar el cumplimiento de este parámetro de diseño remitidos por la municipalidad de Orotina.

El análisis realizado se centra en los bastiones de tipo gravedad que se utilizaron para este puente, no se han contemplado normativas relacionadas con otros tipos de bastiones. Se han utilizado principalmente las normativas contenidas en la especificación AASHTO LRFD 2012 y los Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes del CFIA.

El papel del LanammeUCR en este caso se limita a brindar una asesoría técnica según lo solicitado por la Municipalidad de Orotina, sobre este caso específico, a partir de las potestades dadas por la Ley 8114 y 9329 y sus reglamentos. Por lo que debe tenerse claro que el informe emitido por el LanammeUCR no se puede interpretar de ningún modo como un arbitraje técnico, mediación, conciliación o similar.

4. Limitaciones

Al recibirse la solicitud de colaboración por parte de la Municipalidad de Orotina posterior a la construcción del puente, solamente se cuenta con la información que esta entidad ha suministrado, correspondiente a:

- Comunicaciones entre supervisión y contratista en diseño (INCOSESA).
- Reportes de inspección
- Memoria de calculo
- Documentos contractuales

- Cartel de licitación
- Ordenes de servicio
- Oficios entre instituciones (MOPT – INDER – Municipalidad)
- Planos constructivos

Por lo que de existir información o comunicaciones adicionales a las analizadas; relacionadas con la ejecución de la obra (específicamente los bastiones), se deja claro que no se ha tenido acceso a la misma, para la emisión del criterio suministrado. En la tabla 1 se muestra un resumen de los documentos aportados y su descripción.

5. Metodología

Para abordar la solicitud planteada por parte de la Municipalidad de Orotina se ha dispuesto de una secuencia de labores que permiten tener una visión más clara del problema y de las implicaciones estructurales y funcionales que podría tener el cambio de material en la construcción de los bastiones del puente Cebadilla.

A partir de la recepción del oficio se planteó un esquema de 4 etapas en el cual se aclararon dudas sobre el proceso de contratación y construcción (Etapa 1: análisis preliminar); se realizó la revisión de la normativa nacional e internacional, se consultó el caso con la Unidad de Puentes del Lanamme y se realizó la inspección de campo (Etapa 2: Estudio del caso); posteriormente se evidenció la necesidad de contar con información adicional y aclarar algunos aspectos con la Municipalidad (Etapa 3: Consulta adicional); finalmente, se ha generado el informe conteniendo el criterio solicitado (Etapa 4: Informe).

En la figura 1 se resume la metodología que se utilizó para este proceso de inspección:

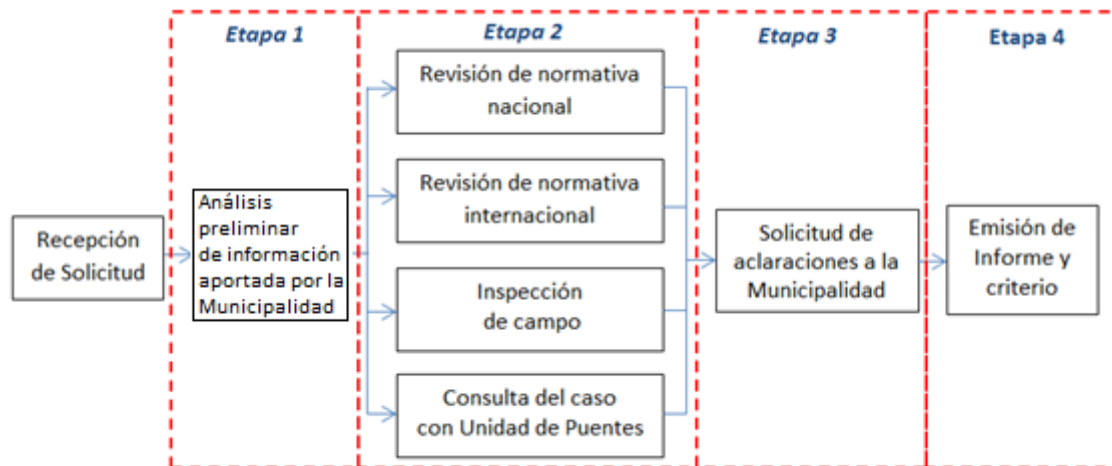


Figura 1: Metodología utilizada para atención de la solicitud

Fuente: LanammeUCR

6. Antecedentes

6.1 Descripción del puente

Este puente se ubica en las coordenadas (9.88597, -84.59686) sobre la Quebrada Pozón en la ruta cantonal 2-09-048 (ver figura 2). El mismo tiene una longitud de 30,6 metros y consiste en un puente vehicular de un carril con acera peatonal en un costado, con una superestructura de cinco vigas de acero tipo I de 0,93 m de altura con apoyos fijos sobre neoprenos, losa de concreto de 0,2 m de espesor y barandas de concreto tipo New Jersey. La subestructura del puente consiste en dos bastiones de concreto masivo de tipo gravedad de 5 m de altura y con anchos de 8,66 m en la margen izquierda y 8,72 m en la margen derecha, adicionalmente se tienen aletones de concreto masivo unidos a los cuerpos principales de los bastiones.



Figura 2: Ubicación del puente Quebrada Pozón - Cebadilla y vista general.
Fuente: Google Earth y LanammeUCR

6.2 Revisión documental.

Como parte de la solicitud planteada en el oficio MO-A-0230-21-2020-2024 la Municipalidad de Orotina aportó un conjunto de documentos complementarios que han servido para conocer el desarrollo del proyecto, en la siguiente tabla se resumen estos documentos:



Tabla 1: Documentos aportados por la Municipalidad de Orotina al LanammeUCR

Documento	Descripción
Decisión Inicial 2016-000165-01	Documentos sobre la contratación de empresa para realizar estudio hidrológico, diseño y dirección técnica de proyecto (diciembre 2016).
Orden de Compra 2016CD-000165-01	
Planos constructivos	Conjunto de cuatro láminas con el diseño del puente Cebadilla, de particular interés para este caso es la lámina #2 donde se contiene la información de los bastiones a construirse con concreto ciclópeo (marzo 2017).
Memoria de calculo	Documento donde se muestran los cálculos y consideraciones para el diseño del puente, incluyendo sus bastiones (fecha marzo 2017).
Oficio SD-PIR-322-2017 y oficio Autorización DVOP-DP-DP-2017-337	Revisiones por parte de INDER y Dirección de Puentes MOPT al diseño del puente (fecha mayo y agosto 2017).
Convenio INDER – Municipalidad de Orotina	Convenio entre INDER y Municipalidad de Orotina para la construcción del puente (fecha noviembre 2017).
Licitación Abreviada N°2017LA-000007-01	Condiciones de contratación y especificaciones para la construcción. Cabe resaltar que en este documento no hay especificaciones para concreto ciclópeo (noviembre 2017).
Orden de compra N°270	Orden de compra emitida a favor de Montedes para construcción del puente (fecha diciembre 2017).
Contrato N°LA-007-2017	Contratación de empresa Montedes para construcción del puente (fecha enero 2018).
Oficio UT/MO-022-2018	Orden de inicio de proyecto (fecha febrero 2018).
Orden de servicio N°6	Orden de suspensión de obras hasta 14 de noviembre de 2018 a causa de deformaciones en los neoprenos de apoyo (fecha 13 setiembre 2018).
Orden de servicio N°7	Orden de reinicio de labores (fecha 5 de noviembre 2018).
Oficio DVOP-DP-2018-624	Nota por parte de la Dirección de Puentes del MOPT a INDER atendiendo consultas realizadas vía correo electrónico. En la nota se manifiesta que el bastión construido “...incumple con la normativa de diseño de estructuras de puentes vigente” (fecha 22 noviembre 2018)
Oficio SD-PIR-1452-2018 INDER	Fiscalizador del proyecto por parte de INDER manifiesta su preocupación por el cambio de material al pasar de un concreto ciclópeo a un concreto convencional basándose en la nota emitida por la Dirección de Puentes del MOPT (fecha 22 noviembre 2018).
Oficio SP-PIR-1452-2018	Nota de descargo por parte de INCOCESA sobre lo expresado por parte de la fiscalización del proyecto acerca de los bastiones (fecha 2 diciembre 2018).



Documento	Descripción
Oficio MO-A-DPDT-IV-122-2018	Nota emitida por la Municipalidad de Orotina aclarando a INDER sobre los criterios emitidos en el oficio SD-PIR-1452-2018 (fecha 4 diciembre 2018).
Planos As-Built del puente	Planos as-built donde se indica en la lámina 2/4 la utilización de concreto estructura clase C de 140kg/cm ² para la construcción de los bastiones (fecha febrero 2019).
Oficio INDER-GG-DRT-FDR-SD-PIR-028-2020	Nota emitida por parte de la Oficina de Proceso Infraestructura Rural de INDER indicando que no se pueden referir sobre el tema (fecha 18 febrero 2020).
Oficio MO-A-0230-21-2020-2024	Exposición de hechos y consulta hacia el LanammeUCR sobre el tema de los bastiones por parte de la Municipalidad de Orotina (fecha 11 marzo 2021).
Oficio MO-A-0986-21-2020-2024 y Oficio MO-A-DPDT-IV-160-2021	Notas por parte de la Municipalidad de Orotina aportando información adicional (fecha 20 octubre 2021).

En conjunto con los documentos presentados en la tabla anterior, la Municipalidad de Orotina aportó los informes de laboratorio a cargo de LGC Ingeniería de Pavimentos sobre las pruebas de resistencia de los concretos. Se resumen a continuación los principales resultados de estos informes (resistencias a 28 días del concreto):

Informe 01-0602-2018 de 3 de mayo de 2018

Tabla 2: Resumen de resultados de resistencia de concretos a 28 días (informe 01-0602-2018)

N° Muestra	Fecha moldeo	Resistencia (kg/cm ²)
01-5511-2018	2018-03-02	180
01-5515-2018	2018-03-02	142
01-5519-2018	2018-03-02	148
01-5523-2018	2018-03-03	167
01-5527-2018	2018-03-02	203
01-9126-2018	2018-03-14	142
01-9130-2018	2018-03-14	151

Fuente: Informe 01-0602-2018 de LGC Ingeniería de Pavimentos

Informe 01-0951-2018 de 10 de Julio de 2018.

Tabla 3: Resumen de resultados de resistencia de concretos a 28 días (informe 01-0951-2018)

N° Muestra	Fecha moldeo	Resistencia (kg/cm ²)
01-9134-2018	2018-03-25	142
01-9138-2018	2018-03-25	144
01-9328-2018	2018-04-13	304
01-12758-2018	2018-04-25	153
01-12759-2018	2018-04-25	154
01-12762-2018	2018-04-25	148
01-12763-2018	2018-04-25	146
01-12766-2018	2018-04-25	145
01-12767-2018	2018-04-25	146
01-12770-2018	2018-04-25	148
01-12771-2018	2018-04-25	145
01-12774-2018	2018-04-25	152
01-12775-2018	2018-04-25	144
01-12778-2018	2018-05-04	144
01-12779-2018	2018-05-04	164
01-12783-2018	2018-05-17	153
01-12786-2018	2018-05-31	284
01-12787-2018	2018-05-31	291

Fuente: Informe 01-0951-2018 de LGC Ingeniería de Pavimentos

En la siguiente figura se muestra una línea de tiempo mostrando los documentos aportados y principales hitos de la construcción de este puente y procesos de consulta posteriores. Cabe mencionar que los datos aportados han sido suministrados por la Municipalidad de Orotina, por lo que de existir documentación de importancia adicional es desconocida por el LanammeUCR al momento de realizar el presente informe.

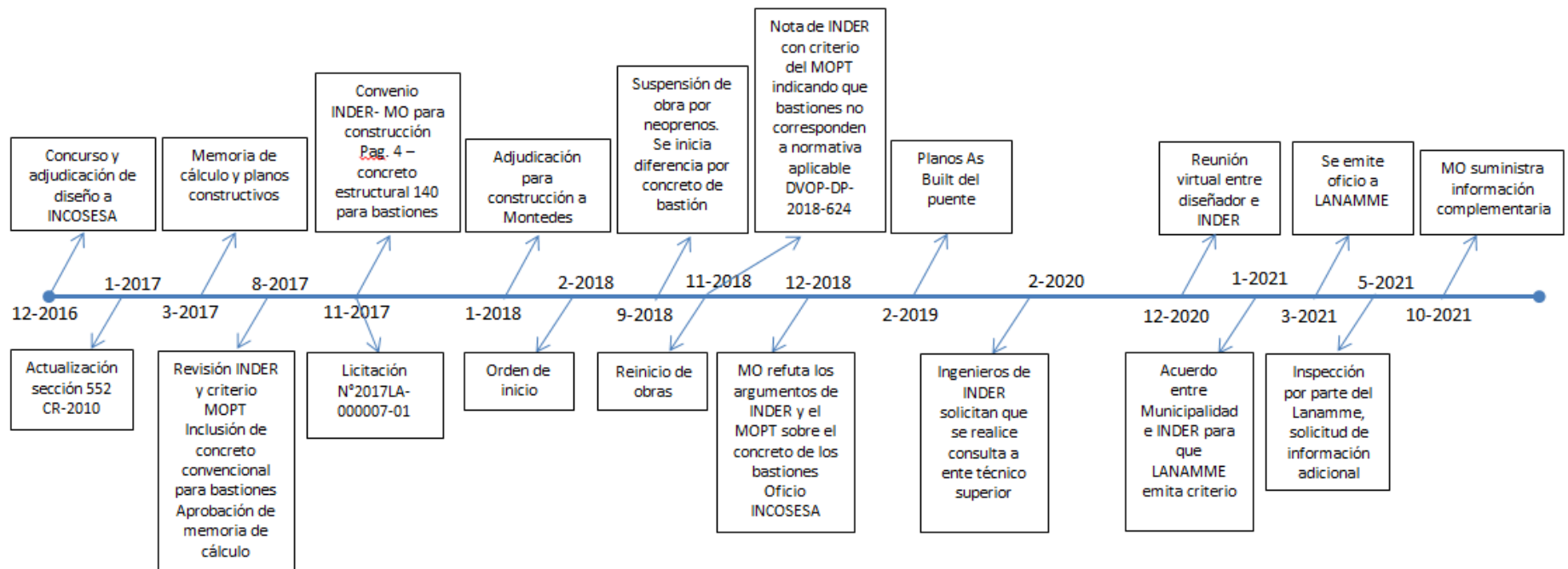


Figura 3: Línea de tiempo de oficios e hitos importantes del proyecto

Fuente: LanammeUCR



7. Análisis bibliográfico y normativo de bastiones de gravedad

En esta sección se presentan las referencias de mayor importancia relacionadas con el diseño de bastiones de tipo gravedad y el tipo de concreto a utilizarse. Estas referencias se encontraban vigentes en la fecha en que se indica que se generaron los planos constructivos.

7.1 Información bibliográfica sobre diseño de bastiones de gravedad

En primera instancia se realizó una revisión de bibliografía especializada en el campo del diseño de bastiones para puentes y muros de retención de gravedad. Al respecto se mencionan los siguientes textos:

“En general, existen dos tipos principales de muros de contención: muros de contención convencionales y MSE (suelo reforzado). Los muros de contención convencionales están contruidos con hormigón (reforzado) e incluyen gravedad, semigravedad y muros de contención en voladizo. Los muros de contención de gravedad no tienen refuerzo y usan su peso propio para la estabilidad. Por tanto, son voluminosos y pesados... El diseño de muros de contención rígidos convencionales son la estabilidad interna (refuerzo) y la estabilidad externa. El diseño de estabilidad externa son los controles contra tres modos de falla: (1) vuelco alrededor de la punta, (2) deslizamiento a lo largo de la base y (3) capacidad de carga falla del suelo de cimentación” (Xiao, 2015).

Como puede deducirse del párrafo anterior, para este tipo de muros el principal factor de consideración en su diseño es el peso total del muro (en este caso bastión) que soporta el empuje lateral del terreno. En la misma línea de pensamiento se puede añadir:

“Los muros de gravedad dependen del peso bruto para su estabilidad, en contraposición a los muros de retención en voladizo unidos a una fundación... La mayoría de los muros de gravedad son relativamente bajos, como los usados en paisajismo, y no requieren procesos complejos de ingeniería, el diseño es más intuitivo.

El proceso de diseño de un muro de gravedad en concreto o rocas unidas con mortero incluye seis pasos básicos:

- *Calcular el peso muerto del muro, incluyendo todos los componentes y cualquier sobrecarga impuesta o carga axial, además de la carga tributaria de la tierra sobre la base.*
- *Basado en el cálculo anterior computar el momento resistente en la cara frontal de la base.*
- *Determinar la presión lateral del suelo y su línea de acción (...)*



- Revisar la estabilidad calculando el momento de volteo, momento resistente y determinar el factor de seguridad (1.5 mínimo)
- Revisar el deslizamiento. El coeficiente de fricción generalmente es 0.25 a 0.4. Si el suelo es arcilloso predominará la cohesión.
- Verificar que exista poca o ninguna flexión en el muro. Revisar en varias locaciones calculando el módulo de sección del muro y el momento lateral en cada altura seleccionada” (Brooks, 2010).

Queda claro entonces que, para este tipo de estructuras, el factor determinante a nivel de diseño es el peso propio del elemento y que la resistencia interna provista en este caso por el concreto está orientada principalmente a resistir esfuerzos relativamente pequeños a flexión y las cargas axiales en compresión generadas por las cargas permanentes y vivas que se tengan en el puente.

7.2 Densidad de los materiales

Tal como queda claro en el apartado anterior la estabilidad de los muros de tipo gravedad recae principalmente en el peso total de estos elementos, por lo tanto, la densidad de estos es un factor determinante para su capacidad de soportar cargas externas.

En el caso específico de este puente el diseño utiliza un valor de densidad teórico de 2400kg/m³ para el concreto, el cual es coincidente con lo establecido por el ACI (American Concrete Institute- Committee 221, 2001) como valor típico para concretos estructurales. Cabe mencionar que la densidad típica de los enrocados utilizados para rellenos de masas de concreto oscila entre 2100-2250 kg/m³ (CRFD International Society, 2008); en el caso de Costa Rica se han determinado valores que varían entre 2250-2500 kg/m³ (Instituto Costarricense de Electricidad, 2013) para materiales rocosos de relleno en masas de concreto.

7.3 Capacidad ante esfuerzos de tracción producto de la flexión en muros de gravedad

El concreto es un material que posee una alta capacidad de resistir esfuerzos de compresión (f_c), sin embargo, posee una capacidad limitada para resistir esfuerzos en tensión que está dada por la raíz cuadrada de esta capacidad nominal a la compresión ($\sqrt{f_c}$). Esta propiedad se define como el módulo de ruptura del concreto, para el caso específico de muros de gravedad es importante mencionar que el diseño de estos considera que los esfuerzos impuestos por las cargas externas serán soportados por un bloque uniforme que experimentará pocos esfuerzos de tensión. Caso contrario si se tratara de un muro de tipo voladizo, en los cuales existen importantes esfuerzos de tensión que son soportados principalmente por el acero de refuerzo interno de estos elementos.



Por lo tanto, al considerarse el caso de bastiones de tipo gravedad no existe una diferencia significativa entre el uso de concreto ciclópeo o concreto convencional desde un punto de vista de la capacidad a resistir esfuerzos de tensión.

7.4 Durabilidad de los materiales

La durabilidad de un material se entiende como su capacidad de mantener un comportamiento adecuado ante las cargas y condiciones ambientales durante el periodo de vida útil. En el caso del concreto utilizado para la construcción de bastiones, esa durabilidad estaría relacionada con la integridad que mantendría en el tiempo el bastión y la no aparición de deterioros significativos como: agrietamientos severos, desprendimientos de agregados, descascaramientos, entre otros.

En la sección C.4.2.1 del AASHTO LRFD (AASHTO, 2012) se indica que la durabilidad depende de la relación agua cemento (relación A/C), y no de la resistencia nominal a la compresión del concreto. Por lo tanto, en el caso de estos bastiones, en tanto el parámetro de relación A/C se mantuviera dentro de las especificaciones provistas por el pliego de condiciones y normativa técnica al respecto, no se puede afirmar que la utilización de un concreto convencional reduzca la durabilidad del material con relación a la utilización de un concreto ciclópeo.

7.5 Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes

Este documento establece que para el diseño y la rehabilitación sismorresistente de puentes en Costa Rica se deben satisfacer los requisitos incluidos en las especificaciones:

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Sixth Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2012.
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011.

Por lo que los citados documentos deben ser considerados para el diseño de los elementos estructurales de los puentes. De esta manera se analizarán las secciones correspondientes a la construcción de bastiones de gravedad y las características del concreto solicitadas.

En el apartado 4.4 de esta normativa se establecen los requisitos de diseño de bastiones haciendo referencia a las secciones 11.6 de la especificación AASHTO LRFD 2012.

7.6 Manual de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes CR-2010

En la sección 552 Concreto Estructural se brindan las especificaciones para las labores de proveer, colocar, curar y dar acabado al concreto hidráulico utilizado para la construcción de estructuras mayores (incluyendo puentes). De tal manera que dicha sección es la que rige a nivel nacional para la construcción de elementos estructurales de los puentes como es el caso de los bastiones (sección actualizada mediante decreto DE-40333-MOPT el 16 de enero de 2017). En la tabla 552.1(b) se establecen los requerimientos del concreto hidráulico estructural a utilizar para puentes:

Tabla 552-1(b)
Composición del concreto hidráulico estructural para puentes

Clase de concreto hidráulico	Descripción general de uso	Contenido mínimo cemento (kg/m ³)	Razón máxima A/C	Revenimiento (mm) ⁽¹⁾	Tamaño máximo agregado grueso (mm)	Resistencia mínima a 28 días (MPa)
A	Generalmente se utiliza para todo los elementos estructurales, excepto cuando alguna otra clase sea más apropiada, específicamente para el concreto expuesto a agua salada.	360	0,49	50 a 100	25 a 4,75	28
B	Es utilizado para cimentaciones, pedestales, pilotes masivos pre-excavados colados en sitio y muros de gravedad. Estructuras menores.	305	0,58	50 a 100	50 a 75 ó 75 a 4,75	17
C	Es utilizado en secciones delgadas, como barandas reforzadas con un espesor menor a 100 mm, para relleno en pisos de rejilla de acero, etc.	388	0,49	70 a 150 ⁽²⁾	12,5 a 4,75	28
P	Es utilizado cuando la resistencia se requiere que exceda los 28 MPa. Para el concreto reforzado, se debe considerar limitar el tamaño nominal para el agregado a 20 mm.	333	0,49	50 a 100	25 a 4,75 ó 19 a 4,75	Según las especificaciones establecidas por la Administración
S	Es utilizado para concreto depositado debajo del agua en ataguías para evitar el paso del agua.	388	0,58	30-80	25 a 4,75	-
Concreto Liviano	Generalmente se utiliza únicamente en condiciones donde el peso es crítico.	333	Según las especificaciones establecidas por la Administración			

Figura 4: Tabla 552-1(b) Composición del concreto hidráulico estructural para puentes
Fuente: Manual de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes CR-2010

Para el caso de los bastiones del puente Cebadilla en Orotina el tipo de bastiones que se diseñaron y construyeron corresponden al tipo Gravedad, por lo que el concreto empleado para la construcción de estos bastiones debe apegarse a lo establecido en la tabla anterior (Figura 4) para concretos hidráulicos tipo B. Puede apreciarse de esta tabla que la resistencia mínima a los 28 días para este tipo de concreto es de 17 MPa (aproximadamente 173,4 kg/cm²).

7.7 Manual de especificaciones para el diseño de puentes AASHTO LRFD 2012

En la sección 5.4.2.1 referente para concretos estructurales de puentes se establece que “... concretos especificados con resistencias inferiores a 2,4 ksi no deben ser usados en aplicaciones estructurales” (AASHTO, 2012). Esto implica que para elementos estructurales de puentes (como es el caso de bastiones) no se debe emplear concreto con resistencia a la compresión a los 28 días inferior a 168,7 kg/cm² (2,4 ksi).

De forma similar a lo establecido en el CR-2010, el manual AASHTO LRFD 2012 para diseño de puentes establece en la tabla C5.4.2.1-1 las características para los concretos estructurales de puentes (clase B para bastiones de tipo gravedad):

Table C5.4.2.1-1—Concrete Mix Characteristics by Class

Class of Concrete	Minimum Cement Content	Maximum <i>W/C</i> Ratio	Air Content Range	Coarse Aggregate Per AASHTO M 43 (ASTM D448)	28-Day Compressive Strength
	pcy	lbs. Per lbs.	%	Square Size of Openings (in.)	ksi
A	611	0.49	—	1.0 to No. 4	4.0
A(AE)	611	0.45	6.0 ± 1.5	1.0 to No. 4	4.0
B	517	0.58	—	2.0 to No. 3 and No. 3 to No. 4	2.4
B(AE)	517	0.55	5.0 ± 1.5	2.0 to No. 3 and No. 3 to No. 4	2.4
C	658	0.49	—	0.5 to No. 4	4.0
C(AE)	658	0.45	7.0 ± 1.5	0.5 to No. 4	4.0
P P(HPC)	564	0.49	As specified elsewhere	1.0 to No. 4 or 0.75 to No. 4	As specified elsewhere
S	658	0.58	—	1.0 to No. 4	—
Lightweight	564	As specified in the contract documents			

Figura 5: Tabla C5.4.2.1.-1 Características por clase de mezclas de concreto
Fuente: Manual de especificaciones para el diseño de puentes AASHTO LRFD



Adicionalmente, se puede señalar que según la sección 11.2 de este manual se establecen las siguientes definiciones:

- **Bastión:** *“Una estructura que soporta el extremo del tramo de un puente y proporciona soporte lateral para el material de relleno en el que la calzada descansa inmediatamente adyacente al puente”. (AASHTO, 2012)*
- **Muro de gravedad:** *“Un muro de gravedad depende completamente del peso de la mampostería de piedra o de hormigón y de cualquier suelo que descansa sobre la mampostería para su estabilidad. Solo se coloca una cantidad nominal de acero cerca de las caras expuestas para evitar que la superficie agrietamiento debido a cambios de temperatura”. (AASHTO, 2012)*

Considerando estas definiciones y comparando las mismas con la información contenida en los planos constructivos, memoria de cálculo y especificaciones del proyecto se puede afirmar que los bastiones diseñados y construidos en el puente Cebadilla corresponden a bastiones de tipo gravedad, y por lo tanto su naturaleza de resistencia depende principalmente del peso total del elemento.

Además, en este manual se establecen especificaciones para el concreto estructural a utilizar en puentes, específicamente en lo relativo al concreto ciclópeo (*rubble concrete*) no está contenida una especificación para el uso de este tipo de concreto en aplicaciones estructurales, sino que hace referencia a la sección 8 del manual, en la cual están contenidos los requisitos para concreto estructural de acuerdo con la sección 8.2.2 y tabla 8.2.2-1.

8. Inspección de campo

El día 24 de Mayo de 2021 se realizó una visita de inspección en el puente Cebadilla en Orotina a cargo de personal profesional y técnico de la Unidad de Gestión Municipal, en la misma se utilizó la metodología establecida en el Manual de Inspección de Puentes del MOPT (Ministerio de Obras Publicas y Transportes, 2007) dando énfasis a los bastiones del puente, los cuales son el objeto de este informe. A continuación se presentan las principales observaciones recabadas durante la visita:

a) Sobre el material de fabricación:

Los bastiones del puente sobre Quebrada Pozón fueron construidos a partir de concreto masivo (siguiendo una especificación de resistencia de 140 kg/cm^2 dada en planos), según lo observado en sitio y en la documentación remitida por la Municipalidad, en las caras de estos se puede apreciar que se realizó un trabajo de afinado y repello superficial (ver figura 6). Al momento de la inspección se apreciaron sobre las

caras frontales de ambos bastiones algunas zonas donde el repello presentaba agrietamientos en forma de red y desprendimientos leves (ver figura 7). Ambas condiciones se consideran usuales al ubicarse el puente en una zona de alta temperatura ambiental. En este punto es posible descartar la utilización de concreto ciclópeo en la fabricación de estos bastiones, según se evidencia en las condiciones de acabado y composición del concreto expuesto (sin repello) en zonas superiores de ambos costados.



Figura 6: Vista general de bastiones de puente sobre Quebrada Pozón en Cebadilla de Orotina.

Fuente: LanammeUCR



Figura 7: Agrietamientos en red y desprendimientos leves en repello de bastiones.

Fuente: LanammeUCR

b) Agrietamientos verticales identificados:

Se identificaron algunos agrietamientos verticales en las caras frontales de los bastiones, mismos que se ubican desde los bordes laterales de los pedestales de apoyo con dirección vertical sobre el cuerpo del bastión. Estos agrietamientos se ubican sobre la capa de repello y sus espesores varían desde 0,1 mm (bastión en margen izquierda) hasta 1 mm (bastión en margen derecha) (ver figura 8 y 9).



Figura 8: Agrietamientos verticales leves con dirección vertical identificados en bastión de margen izquierda.

Fuente: LanammeUCR



Figura 9: Agrietamientos verticales con dirección vertical identificados en bastión de margen derecha.

Fuente: LanammeUCR



9. Análisis de información recopilada

Tal como se mencionó anteriormente, la Municipalidad de Orotina en el oficio consulta cuál de las siguientes dos opciones tiene mayor capacidad estructural entre concreto con resistencia a la compresión de 140kg/cm^2 o concreto tipo ciclópeo con resistencia nominal de 140 kg/cm^2 para la construcción de los bastiones de este puente. También consulta si el uso indistinto de estos tipos de I concreto en los bastiones compromete la vida útil, estabilidad o seguridad del puente construido. Al respecto se presentan las siguientes observaciones:

- **Observación #1:** El comportamiento de los muros y bastiones de tipo gravedad están regidos principalmente por el peso total del elemento y su densidad. En el caso de este puente los planos constructivos que se generaron durante la etapa de contratación incluyen en la lámina 2/4 una serie de detalles constructivos que corresponden a este tipo de bastión y que no son coincidentes con la realidad de lo construido en sitio evidenciado durante la visita realizada y en los planos “as-built”. Específicamente, se presenta en estos planos constructivos un bastión de tipo gravedad para un puente de un carril sin acera y con tres vigas principales. Adicionalmente, en las notas generales de la lámina 2/4 se especifica que el concreto a usar es de tipo ciclópeo (reafirmado por las secciones transversales). Estos detalles presentados en esta lámina corresponden a los existentes en el sitio web de planos típicos del MOPT para un bastión de 5 m de altura.
- **Observación #2:** A partir de la revisión bibliográfica y referencias nacionales se puede estimar que los agregados que usualmente se utilizan para la construcción de concreto ciclópeo poseen una densidad similar al concreto convencional. Por lo tanto, el peso total de un muro de gravedad no sería significativamente distinto si se construye con estos dos tipos de concreto.
- **Observación #3:** La resistencia a la compresión es un parámetro fundamental para indicar la capacidad de soporte de un concreto, en tanto que la capacidad a tracción (módulo de ruptura) es mucho menor y está dada por la raíz cuadrada de esa resistencia a la compresión. En el caso de bastiones de tipo gravedad los esfuerzos esperados de tracción serían mínimos dada su naturaleza. Por lo tanto, no existe una diferencia significativa entre el uso de un concreto ciclópeo o uno convencional al tratarse de un muro de gravedad.
- **Observación #4:** La durabilidad del concreto esta dada principalmente por la relación agua – cemento (A/C) y por el cumplimiento de normas básicas y buenas prácticas constructivas. Por lo tanto, la utilización de un concreto convencional o uno ciclópeo en un bastión de tipo gravedad no representaría una diferencia significativa a nivel de durabilidad en tanto esa relación A/C y los procesos constructivos fuesen correctos.
- **Observación #5:** Pese a la inclusión en los planos constructivos de bastiones construidos con concreto ciclópeo no existen especificaciones para este material en los documentos licitatorios ni contractuales. Las referencias existentes para el concreto ciclópeo hacen referencia al Manual de especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes CR-77, mismo que



ya no se encuentra vigente para la construcción de infraestructura vial en el país, tal y como se indica en el Decreto 36388-MOPT. La utilización de concreto ciclópeo para la construcción de bastiones de puentes no está incluida dentro de la normativa AASHTO LRFD.

- **Observación #6:** Los deterioros identificados en los bastiones del puente consistentes en agrietamientos menores con espesores entre 0.1 y 1mm podrían ser causados a asentamientos por debajo de la zona de apoyo de las vigas principales, contracción o juntas frías.
- **Observación #7:** No se encontró dentro de la información aportada por la Municipalidad ninguna orden de modificación que indicara la aprobación por parte de la Administración sobre realizar algún cambio en los planos constructivos, ni en el tipo de concreto a utilizar durante el proceso constructivo.
- **Observación #8:** La resistencia a la compresión mínima para los concretos estructurales de puentes es de 170kg/cm^2 según lo establecido por el CR-2010 en la sección 552 y por el Manual de especificaciones para el diseño de puentes AASHTO LRFD. Por lo tanto, ni el concreto ciclópeo especificado en los planos constructivos ni el concreto masivo convencional utilizado finalmente para la construcción de estos bastiones cumple con este requisito de resistencia. Cabe mencionar que según los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión ejecutados por LGC Ingeniería de Pavimentos ningún concreto falló por debajo de la resistencia solicitada de 140 kg/cm^2 .

10. Respuestas a consultas específicas

En este apartado se presentan las respuestas a las consultas específicas planteadas en el oficio MO-A-0230-21-2020-2024:

Pregunta 1: *“¿Cuál de las dos opciones tiene mayor capacidad estructural: el concreto 140 kg/cm^2 o el concreto ciclópeo en los bastiones del puente construido?”:*

La capacidad estructural de un bastión de tipo gravedad (para resistir cargas externas), como los construidos en el caso de este puente, depende principalmente del cumplimiento de las condiciones de estabilidad ante volcamiento, deslizamiento, estabilidad interna y estabilidad global provistas por el peso total del bastión. En tanto los materiales utilizados presenten la misma densidad, no se espera que exista una diferencia en el comportamiento de bastiones construidos con concreto convencional respecto a los construidos con concreto ciclópeo.

Para el caso específico de un bastión de tipo gravedad no existe documentación que indique que la utilización de un concreto convencional en lugar de un concreto ciclópeo sea inadecuada, en tanto el mismo cumpla con los requisitos de resistencia mínima a la compresión y su peso unitario sea cercano a los 2300kg/cm^3 establecidos dentro de la normativa del American Concrete Institute (ACI).



Dado que la capacidad estructural de los bastiones está relacionada con el módulo de ruptura del concreto, el cual es función de la resistencia, no se puede asegurar que exista una diferencia en la capacidad estructural de un bastión elaborado con concreto 140 kg/cm² respecto a un bastión elaborado con concreto ciclópeo 140 kg/cm².

Pregunta 2: “¿el uso de concreto 140kg/cm² vs concreto ciclópeo en los bastiones, compromete la vida útil, estabilidad o seguridad del puente construido?”:

La vida útil esta influenciada por la relación A/C, la estabilidad por la densidad del concreto y dimensiones del bastión, la seguridad está definida por resistencia a tracción, por flexión, todos estos factores que no presentan una variación significativa si el material es concreto o concreto ciclópeo para el caso de muros de tipo gravedad.

No existe documentación que indique que la utilización de un concreto convencional comprometa la vida útil de la estructura, ni su estabilidad, ni su seguridad. Debe aclararse que las especificaciones para concretos estructurales para puentes indican que la resistencia mínima a la compresión del concreto para bastiones y otros elementos de puentes es de 170kg/cm², por lo que bajo estas normativas ni el concreto propuesto en planos (concreto ciclópeo) ni el concreto colocado en sitio (concreto convencional) están acordes a estas normativas.

11. Conclusiones

- A partir de la revisión de la documentación aportada por la Municipalidad de Orotina para generar una respuesta a la solicitud planteada, como se puede corroborar en los mismos, se determina y quedó de manifiesto que existe una incongruencia entre lo presentado en la memoria de cálculo y lo planteado en los planos constructivos. Específicamente en la lámina #2 de los planos constructivos se incluyeron figuras y especificaciones que no corresponden con lo finalmente construido en sitio. Al respecto, cabe destacar que entre la documentación recibida en el LanammeUCR no se aportó ningún documento que respalde o apruebe el cambio en el tipo de concreto a utilizar para la construcción de los bastiones del puente.
- No es posible afirmar que el cambio de material al pasar de un concreto ciclópeo de resistencia nominal $f'c=140\text{kg/cm}^2$ a un concreto convencional masivo de resistencia nominal $f'c=140\text{kg/cm}^2$ comprometa la vida útil, estabilidad y seguridad de los bastiones para el caso específico de bastiones de tipo gravedad en tanto la densidad, relación A/C y módulo de ruptura sean similares entre ambos materiales.



- Producto de la inspección realizada por personal profesional y técnico del LanammeUCR se lograron identificar algunos deterioros menores tanto en bastiones como en superestructura que ameritarían la implementación de medidas de mantenimiento y preservación para evitar efectos adversos a futuro. Cabe mencionar que en una inspección rutinaria realizada el pasado 19 de Julio de 2023 estos deterioros no han mostrado un avance mayor.
- Nuevamente, se aclara que la asesoría técnica brindada a través del informe de este caso en particular constituye un insumo para la Municipalidad de Orotina y se apega a las competencias del LanammeUCR en materia de fiscalización de obra vial en virtud de las disposiciones de la Ley 8114. Por lo tanto, conforme al principio de legalidad, nuestra competencia como asesor técnico especializado en la materia de infraestructura vial está agotada para continuar adelante con un seguimiento más profundo del caso. Lo procedente para resolver lo que corresponda depende de decisiones cuyo análisis implican aspectos legales o jurídicos, de control interno, contratación pública, e incluso hasta de resolución alterna de conflictos fuera de las competencias del LanammeUCR.

12. Recomendaciones

- Cabe mencionar que la resistencia del concreto solamente puede ser medida a partir de ensayos de laboratorio y de sitio. En el caso de este puente si la Administración requiere conocer la resistencia del concreto ya colocado en sitio se sugiere realizar una extracción de núcleos en ambos bastiones, a partir de esos especímenes se podría verificar la resistencia a la compresión del concreto usado.
- Implementar mecanismos más rigurosos de verificación de la información y de inspección en campo en los distintos proyectos.; para evitar lo sucedido en el caso específico aquí analizado, en el que, se ha detectado diferencias entre los planos constructivos y el diseño propuesto, en comparación con el proyecto construido
- Actualizar las referencias a utilizar, para la elaboración del diseño de puentes y sus materiales constituyentes.

13.Referencias

- AASHTO. (2002). *Manual de diseño de puentes estándar*. Washington DC: AASHTO.
- AASHTO. (2010). *AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications 3rd Edition*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 7th Edition*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Concrete Institute. (2013). *Concrete Repair Manual-4th Edition*. Farmington Hiill, MI.: ACI.
- American Concrete Institute- Committee 221. (2001). *Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete*. Naples: ACI.
- Brooks, H. (2010). *Basics of retaining wall design*. California: HBA Publications.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2013). *Lineamientos para el diseño sismorresistentes de puentes*. San José: CFIA.
- CRFD International Society. (2008). *Guidelines for design: High concrete face rockfill dam*. Proyry, Austria: TRCOLD.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2013). *Informe final de obra PH Reventazon*. San José: ICE.
- Ministerio de Obras Publicas y Transportes. (2007). *Manual de Inspección de Puentes*. San José: MOPT.
- Ministerio de Obras Publicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. San José: MOPT.
- Xiao, M. (2015). *Geotechnical Engineering Design*. Chennai: Wiley Blackwell.