



Guía Técnica para el **Mantenimiento de Puentes**

Thomas Winiker Pérez • Giannina Ortiz Quesada

624.20288

W772g

Winiker-Pérez, Thomas

Guía para el mantenimiento de puentes / Thomas Winiker-Pérez,
Giannina Ortiz-Quesada. -- 1 edición. -- Cartago, Costa Rica : Editorial
Tecnológica de Costa Rica, 2022.

1 recurso en línea (1 archivo pdf 35Kb) : ilustraciones, fotografías, gráficos.

Bibliografía

ISBN: 978-9930-617-01-4 (e-book)

1. Puentes – Ingeniería 2. Puentes – Costa Rica 3. Ingeniería
4. Puentes – Mantenimiento y reparación 5. Conservación de puentes
6. Puentes – Rehabilitación 7. Mantenimiento preventivo 8. Ingeniería de
estructuras 9. Manuales I. Ortiz-Quesada, Giannina II. Título.



9 789930 617014

Guía Técnica para el **Mantenimiento de Puentes**

Autores

Thomas Winiker Pérez¹ (autor principal)

Giannina Ortiz Quesada

**Este documento se encuentra dentro de los productos del
Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes**

Grupo de Investigación eBridge

Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción – CIVCO

Escuela de Ingeniería en Construcción

Instituto Tecnológico de Costa Rica

¹ Este documento fue producto del proyecto de graduación para el programa de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.

Contenido

Presentación.....	7
Capítulo 1. Generalidades	9
Objetivo	9
Alcance	9
Componentes del Manual de Mantenimiento de Puentes	9
Abreviaciones	10
Componentes de un puente según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT.....	10
Capítulo 2. Daños más comunes que presentan los puentes de Costa Rica.....	14
Daños más comunes.....	14
Capítulo 3. Procedimientos de mantenimiento	16
D01 Reparación de acero de refuerzo expuesto	17
D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa.....	19
D01-MP-B1 Reparación de acero expuesto en una baranda tipo New Jersey.....	22
D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila.....	26
D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.....	30
D01-MP-T1 Reparación de acero expuesto mediante la instalación de ánodos galvánicos embebidos.....	34
D02 Remoción de la eflorescencia.....	40
D02-MR-T1 Remoción de la eflorescencia mediante métodos manuales	41
D02-MR-T2 Remoción de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica.....	42
D02-MR-T3 Remoción de la eflorescencia lavando con soluciones ácidas	43

D03 Reparación de nidos de piedra	45
D03-MP-P1 Reparación de nidos de piedra en el cuerpo principal del bastión o pila.....	46
D03-MP-V1 Reparación de nidos de piedra en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa	50
D04 Reparación del descascaramiento	54
D04-MP-L1 Reparación del descascaramiento en la losa	56
D04-MP-P1 Reparación del descascaramiento en la pila o en el bastión	59
D04-MP-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.....	63
D05 Reparación de juntas obstruidas	67
D05-MR-J1 Limpieza general del puente	68
D06 Reparación de la corrosión.....	71
D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida	72
D07 Reparación de la oxidación	75
D07-MR-T1 Eliminación de la oxidación mediante la limpieza con chorro de agua	77
D08 Reparación de las filtraciones de agua en juntas de expansión.....	78
D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión por juntas de silicón.....	80
D09 Reparación de grietas en una dirección	83
D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión.....	85
D09-MP-L1 Sellado de grietas en losas de concreto o carpetas asfálticas.....	89
D10 Remoción de sobrecapas de pavimento	91
D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de riego de concreto asfáltico	93
D11 Socavación en el bastión.....	95
D11-MR-P1 Limpieza de los cauces para prevenir la socavación	97
D11-MP-P1 Procedimiento para prevenir la socavación, mediante enrocados (escolleras) en el cuerpo principal de los bastiones	97

D12 Reparación de elementos faltantes o ausencia de barandas	101
D12-MP-B1 Reparación de baranda de concreto.....	102
D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas	106
D14 Reparación de la deformación en baranda y viga principal de acero	109
D15 Reparación del agrietamiento en las barandas de concreto	111
D16 Reparación del descascaramiento de la pintura.....	111
D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado	113
D00 Reparación de apoyos.....	116
D00-MP-A1 Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos.....	118
Bibliografía	123
Apéndices	125
Apéndice 1. Código de los procedimientos.....	125
Apéndice 2. Cálculo de la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal (Según la Sección 8.5 del CSCR-10).....	126
Referencia	126

Presentación

Los puentes son el componente más crítico de la infraestructura vial, debido a que representan el componente más caro por metro lineal en la construcción de obras viales, además, en caso de colapso de un puente, la ruta queda fuera de operación (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018). A pesar de su clara importancia, en Costa Rica, la mayoría de estas estructuras, construidas hace más de 30 años, han tenido poca o ninguna inversión en mantenimiento y su actualización ha sido mínima (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Según estudios realizados por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, gran cantidad de estos problemas son producto de la falta de un plan de monitoreo y mantenimiento continuo de las estructuras. Es por esta razón que es indispensable que Costa Rica implemente un Programa de Conservación de Puentes (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Según la Federal Highway Administration (2018), un programa de conservación de puentes consiste en aplicar procedimientos de mantenimiento para prolongar la vida de servicio de los puentes y retrasar la necesidad de intervenirlos con procedimientos de rehabilitación o reconstrucción. Es decir, los elementos se intervienen cuando sus daños están en una fase leve y, de esta forma, se evitan procedimientos más complejos que resultan mucho más costosos. En la siguiente figura, se puede observar la estructura de un programa de conservación de puentes.



Figura 1. Estructura de un programa de conservación de puentes.

Fuente: elaboración propia a partir de las recomendaciones de Federal Highway Administration (2018).

Tal y como se observa en la figura anterior, a través de procedimientos de mantenimiento se busca extender la vida útil de un puente y sus elementos. Cuando esto ya no es viable, se deben realizar rehabilitacio-

nes para regresar el puente a un estado óptimo de servicio para nuevamente repetir el ciclo, es decir, con procedimientos de mantenimiento evitar que el puente llegue a una condición donde necesite rehabilitaciones. El ciclo se debe repetir hasta que con la ayuda de un análisis costo-beneficio se determine que lo adecuado es reemplazar la estructura.

A pesar de que adoptar un programa de conservación de puentes implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas.

Es importante entender que el mantenimiento rutinario se refiere a las actividades que se realizan en intervalos predeterminados de tiempo, cuyo objetivo es preservar los puentes existentes y retrasar el deterioro (Federal Highway Administration, 2011). En cambio, por mantenimiento periódico o correctivo se entiende que son las actividades que se deben programar de acuerdo con las necesidades específicas de cada elemento y deben identificarse en el proceso de inspección visual de puentes (Federal Highway Administration, 2011).

Dada la importancia de los procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para un programa de conservación de puentes, es indispensable que el país cuente con manuales de este tipo para poder implementarlo. Estos manuales sirven de guía para que las entidades encargadas de mantenimiento de puentes puedan ejecutar los procedimientos de la mejor manera, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

Con la publicación de este manual de Procedimientos para el Mantenimiento de Puentes, se espera que el país cuente con una herramienta que no solamente tenga procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico disponibles, sino que también lleve a cabo un análisis de los daños más repetitivos en los diferentes elementos de los puentes, junto con las posibles causas y consecuencias.

La intención de este manual es servir como guía o referencia para llevar a cabo actividades de mantenimiento periódico y rutinario en los puentes de Costa Rica, y reparar los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.

Capítulo 1

Generalidades

Objetivo

Servir de guía o referencia para que las entidades encargadas del mantenimiento de puentes puedan ejecutar procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para los 16 daños más repetitivos encontrados en el Inventario y Evaluación Visual de Daños de Puentes en Rutas Nacionales 2014-2018 (TEC, 2019), de manera adecuada, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

Alcance

Este manual incluye procedimientos de mantenimiento únicamente para los 16 daños más repetitivos que se encuentran presentes en el inventario nacional de puentes. También, es importante resaltar que la aplicación de este manual requiere del criterio y la supervisión del ingeniero a cargo de las obras de mantenimiento.

Componentes del Manual de Mantenimiento de Puentes

Este manual está compuesto por tres capítulos, el primer capítulo abarca temas generales, tales como: introducción, objetivo, alcance, componentes generales de un puente y las abreviaciones utilizadas.

El segundo capítulo comenta el estudio que se llevó a cabo para determinar la repetitividad de los daños que afectan los puentes del inventario nacional de puentes. Además, se mencionan cuáles son los 16 daños más comunes que afectan los puentes nacionales.

Por último, el tercer capítulo abarca procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para intervenir los 16 daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes. Añadido a esto, cada daño presenta una explicación de sus posibles causas y consecuencias.

Abreviaciones

AASTHO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI:	American Concrete Institute
ASTM:	American Society for Testing and Materials
CONAVI:	Consejo Nacional de Vialidad
CR-2010:	Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes
CSCR-10:	Código Sísmico de Costa Rica
MCV-2015:	Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes
MOPT:	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
PEEP:	Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes del Tecnológico de Costa Rica
TEC:	Instituto Tecnológico de Costa Rica

Componentes de un puente según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT

Los componentes de un puente según el MOPT (2007) son:

Accesorios: son los elementos que no poseen una función estructural, sin embargo, son fundamentales para el funcionamiento adecuado del puente. Estos elementos son la superficie de rodamiento, juntas de expansión y barandas.

Superestructura: la superestructura está compuesta por la losa o sistema de piso, elementos principales, tales como las vigas, cerchas y arco, y los elementos secundarios, como los diafragmas y sistemas de arriostramiento.

Subestructura: la subestructura está compuesta por las pilas, pilotes, bastiones y apoyos.

Accesos de aproximación: los accesos de aproximación comprenden la losa de aproximación y los relleños con sus respectivas protecciones.

Accesorios

Superficie de rodamiento: según el MOPT (2007), una superficie de rodamiento es una capa de desgaste, ya sea de concreto o asfalto, que se coloca sobre la losa o el sistema de piso para protegerlo del clima o de la abrasión producida por el flujo vehicular. Estos espesores varían entre 2,54 cm y 5 cm, sin embargo, en muchos casos, este espesor es mayor, debido a una inapropiada técnica de mantenimiento de carreteras (MOPT, 2007).

MOPT (2007) recomienda que todas las losas de concreto deben tener una superficie de rodamiento de asfalto de, por lo menos, 5 cm, inclusive si estos cuentan con una cubierta

de concreto. Antes de colocar la capa de asfalto. Esta misma entidad recomienda instalar una membrana impermeable, ya que, de esta forma, se evita el deterioro de la losa de concreto por el tráfico pesado y las condiciones climáticas severas.

Baranda: según el MOPT (2007), una baranda es un sistema de contención longitudinal que puede ser de concreto o de acero. Se fija al sistema de piso y su función es evitar que los usuarios, vehículos, peatones o ciclistas caigan al vacío.

Juntas de expansión: de acuerdo con el MOPT (2007), una junta de expansión es un elemento divisorio de la losa y se colocan en los extremos de cada tipo de superestructura. Permiten su movimiento, ya sea por traslación o rotación, y se garantiza que la superestructura pueda contraerse o expandirse debido a los efectos de la temperatura y sismo. Los tipos más comunes de juntas de expansión en Costa Rica, según este ministerio, son:

- **Juntas abiertas:** es una abertura libre de aproximadamente media pulgada (12,7 mm) entre losas, losa-bastión o losa-losa de aproximación y que comúnmente cuentan con angulares de acero para evitar que se desprenda el concreto de los bordes, debido al paso repetitivo de los vehículos.
- **Juntas selladas rellenas:** típicamente se aplican en puentes cortos que tengan un desplazamiento menor a 38,1 mm (1 ½ pulgada), son similares a las juntas abiertas, pero cuentan con un *water stop*, para impermeabilizar la junta y se protege con un relleno premoldeado que se sella con hule chorreado.
- **Juntas selladas con sellos comprimidos de neopreno:** se coloca un sello comprimido de neopreno en una junta abierta y la elasticidad del material impermeabiliza la junta y permite el movimiento de la losa. Comúnmente, se colocan en puentes cuyos desplazamientos se encuentren en un rango de 12,7 mm y 63,5 mm (1/2 a 2 ½ pulgada).
- **Juntas de placas de acero deslizante:** se pueden colocar en puentes que tengan desplazamientos mayores a 101 mm (4 pulgadas) y se refiere a una placa de acero que se ancla a solo un extremo de la junta lo que permite el movimiento de la losa.
- **Juntas de placas dentadas:** se utilizan en puentes que tengan desplazamientos menores a 610 mm (24 pulgadas), y consiste en dos placas dentadas de acero que se entrelazan dejando un espacio entre sí para permitir el desplazamiento. Debajo de estas se instala un drenaje con material elastomérico para garantizar la impermeabilización de la junta.

Superestructura

Sistema de piso o losa: según el MOPT (2007), el sistema de piso o losa es la plataforma por la cual circula la carga viva vehicular y su función principal es transferir dichas cargas a los elementos principales, los cuales pueden ser vigas, arcos, cerchas, etc.

Elementos principales: de acuerdo con el MOPT (2007), la función principal de los elementos principales “es soportar las cargas transferidas a ellos por el sistema de piso y además transmitir los esfuerzos resultantes hacia la subestructura a través de los apoyos” (p. 6).

Elementos secundarios: según el MOPT (2007), los elementos secundarios son los encargados de distribuir apropiadamente las cargas y generar mayor rigidez lateral y torsional, de forma que se restrinjan las deformaciones de los elementos principales para que trabajen más eficientes.

De acuerdo con el MOPT (2007), los 4 tipos más comunes de superestructura en Costa Rica son:

- **Superestructura de vigas:** está compuesta por vigas principales que pueden tener dos (viga simple) o más apoyos (viga continua) y que tienen juntas de expansión en sus extremos. En el caso de un marco rígido, los extremos se encuentran empotrados a las columnas, por lo que no existen las juntas.
- **Superestructura de cercha:** está compuesta por dos armaduras que se unen por medio de un sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento superior e inferior. Pueden ser de paso inferior, paso superior o de media altura.
- **Superestructura de arco:** está compuesta por vigas o armaduras con forma de arco que también se encuentran unidas por el sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento. Pueden ser de paso superior o inferior.
- **Superestructuras suspendidas:** son sistemas de pisos suspendidos de una o varias pilas centrales mediante cables comúnmente de acero. Pueden ser colgantes o atirantadas.

Subestructura

Apoyos: según el MOPT (2007), los apoyos son sistemas mecánicos cuya función principal es transmitir las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Además, para que la estructura de paso tenga un adecuado funcionamiento, los apoyos deben garantizar los grados de libertad del diseño. De acuerdo con el MOPT (2007), existen tres tipos de apoyos.

- **Apoyo de expansión:** este tipo de apoyo le permite a la estructura rotar o trasladarse en sentido longitudinal. Pueden ser de placa, neopreno, nódulo o balancín.
- **Apoyo fijo:** este tipo de apoyo le restringe la traslación a la estructura y solamente le permite rotar.
- **Apoyo rígido o empotrado:** este tipo de apoyo restringe todos los movimientos, ya sean de rotación o traslación.

Bastiones: según el MOPT (2007), los bastiones sirven de apoyo en los extremos del puente, además, como están en contacto con los rellenos de aproximación tienen la función de absorber el empuje del suelo. Los bastiones pueden ser de concreto, acero, madera o mampostería y están compuestos por aletones, viga cabezal, cuerpo principal y la fundación. Además, pueden ser de varios tipos: de gravedad, voladizo, marco, muro con contrafuerte, cabezal sobre pilotes o de tierra armada.

Pilas: el MOPT (2007) menciona que la función de las pilas es servir como apoyos intermedios a la superestructura. Generalmente, son construidas de concreto reforzado. Los componentes de una pila son la viga cabezal, cuerpo principal y la fundación, y pueden ser de varios tipos: muro, marco, columna sencilla o columna múltiple.

En la siguiente figura se pueden observar algunos de los componentes de un puente, que fueron explicados anteriormente.

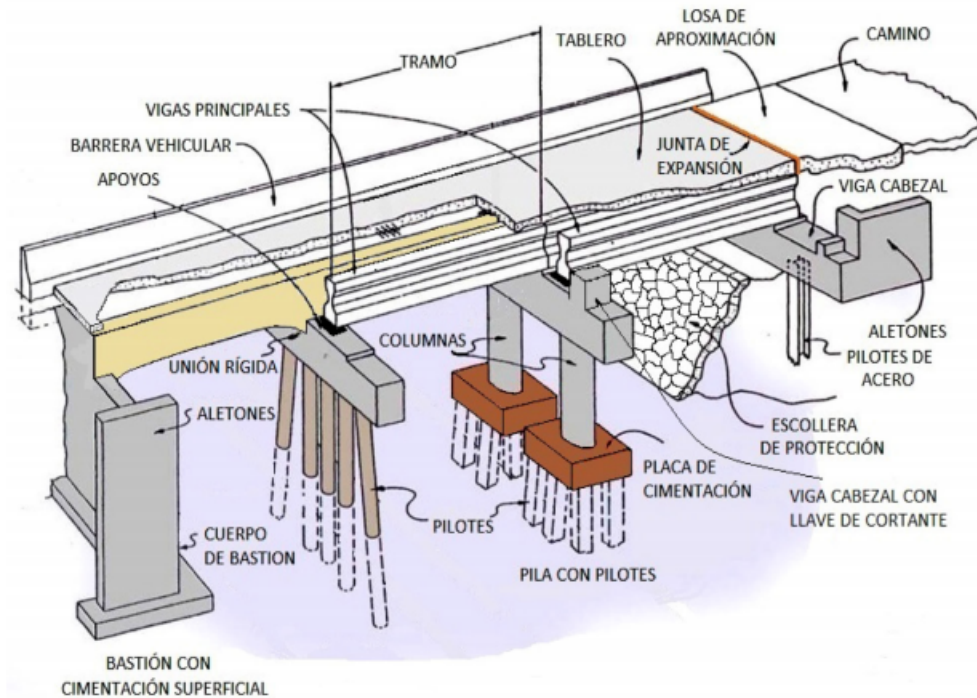


Figura 2. Componentes de un puente.

Fuente: Muñoz et al. (2015).

Capítulo 1

Daños más comunes que presentan los puentes de Costa Rica

Daños más comunes

Para determinar los daños más comunes que afectan los puentes nacionales, se compararon los 83 daños analizados en el Manual de Inspección de Puentes (MOPT, 2007) y se encontró que el mismo daño se puede dar en diferentes elementos. Por ejemplo, el acero de refuerzo expuesto se puede dar en barandas de concreto, juntas de expansión, losas, vigas principales de concreto, vigas diafragmas de concreto, viga cabezal y aletones del bastión, cuerpo principal del bastión, martillo de la pila y el cuerpo principal de la pila. De esta manera, se determinó que existen 43 daños diferentes en el inventario nacional de puentes.

El inventario nacional de puentes está conformado por la inspección visual realizada por el PEEP a 1670 puentes, realizado entre los años 2014-2018, los cuales representan alrededor del 95% de los puentes sobre rutas nacionales.

Gracias a la información suministrada por el PEEP, acerca de las inspecciones realizadas, se logró determinar la repetitividad de los 43 daños en los diferentes elementos de los puentes, de rutas nacionales.

En el siguiente cuadro, se pueden observar los 16 daños más comunes que se encuentran presentes en el inventario nacional de puentes.

Cuadro 1. Daños más comunes que se encuentran en el inventario nacional de puentes.

Daño	Repeticiones	Procedimiento de intervención propuesto
1. Acero de refuerzo expuesto	5954	D01 Reparación de acero de refuerzo expuesto
2. Eflorescencia	3023	D02 Remoción de la eflorescencia
3. Nidos de piedra	1874	D03 Reparación de nidos de piedra
4. Descascaramiento del concreto	1284	D04 Reparación del descascaramiento
5. Juntas obstruidas	1014	D05 Reparación de juntas obstruidas
6. Corrosión	995	D06 Reparación de la corrosión
7. Oxidación	973	Reparación de la oxidación
8. Filtraciones de agua en juntas de expansión	950	D08 Reparación de las filtraciones de agua en juntas de expansión

9. Grietas en una dirección	883	D09 Reparación de grietas en una dirección
10. Sobrecapas de pavimento	762	D10 Remoción de sobrecapas de pavimento
11. Socavación en el bastión	642	D11 Socavación en el bastión
12. Faltante o ausencia en barandas	514	D12 Reparación de elementos faltantes o ausencia de barandas
13. Oxidación en sistemas de arriostramiento	432	D07 Reparación de la oxidación
14. Deformación en baranda y viga principal de acero	375	D14 Reparación de la deformación en baranda y viga principal de acero
15. Agrietamiento de la baranda de concreto	373	D15 Reparación del agrietamiento en las barandas de concreto
16. Descascaramiento de la pintura en elementos de acero	360	D16 Reparación del descascaramiento de la pintura

Fuente: elaboración propia.

Para intervenir estos daños, en el capítulo 3, se proponen procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico. Además, se explican las posibles causas y consecuencias de dichos daños.

Para cada procedimiento, se definió un objetivo, criterio, notas generales, especificaciones de los materiales y herramientas, además de que se menciona dónde se encuentran las especificaciones (referencias bibliográficas) de cada procedimiento. Es importante indicar que el criterio hace una referencia directa al Manual de Inspección de Puentes del MOPT e indica para qué grado, del daño respectivo, el procedimiento es aplicable. Por ejemplo, para el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, se menciona que es aplicable para un grado de acero expuesto de 2 o mayor y que en caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

Se debe recalcar que no se incluyen procedimientos para reparar el daño #13 (oxidación en sistema de arriostramiento), porque es un daño que se puede reparar mediante los mismos procedimientos del daño #7 (oxidación). Estos daños se han considerado diferentes porque el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, evalúa el sistema de arriostramiento de una forma diferente a las barandas y viga principal de acero. Para los sistemas de arriostramiento, permite un grado de oxidación menor.

Capítulo 3

Procedimientos de mantenimiento

Los diferentes procedimientos de mantenimiento se seleccionan de acuerdo con los diferentes tipos de daños que se encuentren en el puente.

Según lo estipulado en el MCV-2015, para todos los procedimientos de mantenimiento que se proponen en el presente manual, se deben tomar en cuenta las siguientes medidas de seguridad y de protección ambiental.

Seguridad

- El personal debe contar con uniformes, equipo de seguridad personal y otros elementos de seguridad ocupacional de acuerdo con la legislación respectiva vigente y siguiendo lo estipulado en las normas INTE-31.
- Se debe cumplir con la Subsección 108.08 Sanidad, salud y seguridad, del CR-2010 o su versión vigente.
- Se deben colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad de acuerdo con el Manual Técnico de Protección de Obra, de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito del MOPT, o su versión vigente.
- Regular el paso del tránsito, según sea necesario.

Protección ambiental

- Se deben considerar las medidas de mitigación, prevención y protección del medio ambiente, de acuerdo con la Sección 111. Disposiciones ambientales generales, Subsecciones 108.10 Protección del ambiente y 108.11 Protección de bosques, parques y terrenos públicos, del CR-2010 o su versión vigente; además, se debe cumplir la legislación ambiental vigente.

Añadido a esto, se debe mencionar que la mayor parte de los procedimientos que se proponen en este manual se basan en el Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual del Departamento de Transportes de Georgia, Estados Unidos. Los procedimientos fueron adaptados a las normativas nacionales utilizando el Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MCV-2015) y el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010).

D01 Reparación de acero de refuerzo expuesto

Definición: es la exposición del acero en una estructura de concreto reforzado. En otras palabras, es el acero de refuerzo que debe estar embebido en el concreto.

Elementos en los que se puede presentar el acero de refuerzo expuesto:

1. Losa
2. Baranda de concreto
3. Viga principal o diafragma de concreto
4. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Descascaramiento.
- Paso constante e impacto de vehículos.
- Malas prácticas constructivas. Por ejemplo: el exceso de vibrado genera una deficiente adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Mala calidad del concreto (muy poroso, baja resistencia, entre otras).
- Delaminación (descascaramiento debido a la corrosión del acero) por filtración de agua a través de grietas, recubrimiento menor al estipulado por el ACI, entre otras.
- Nidos de piedra.

Posibles consecuencias:

- Cuando el acero queda expuesto al ambiente se oxida, y si no se lleva a cabo un procedimiento de mantenimiento, iniciará la corrosión, disminuyendo su sección transversal y comprometiendo la capacidad estructural del elemento.
- Es importante resaltar que la oxidación y corrosión no se da solamente en el acero expuesto, también se puede dar cuando se encuentra embebido en el concreto, debido a: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras.

En las siguientes imágenes proporcionadas por el PEEP, se puede observar el acero expuesto en los diferentes elementos de concreto.



Figura 3. Acero expuesto en diferentes elementos de concreto.
Fuente: PEEP (2018).

D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa

Objetivo: reestablecer la integridad funcional y estructural de la losa para asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-L1 Reparación del descascaramiento en la losa.

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de la losa.
2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura ambiente sea mayor a 32 °C.
3. No se debe soldar el acero de refuerzo.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 255 : se debe preparar, transportar, colocar, vibrar y curar de acuerdo con la sección 501 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015, debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015
- Sección 611: reparación de la superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015
- Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010
- Actividad 810.01 – Deck Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual de Georgia.

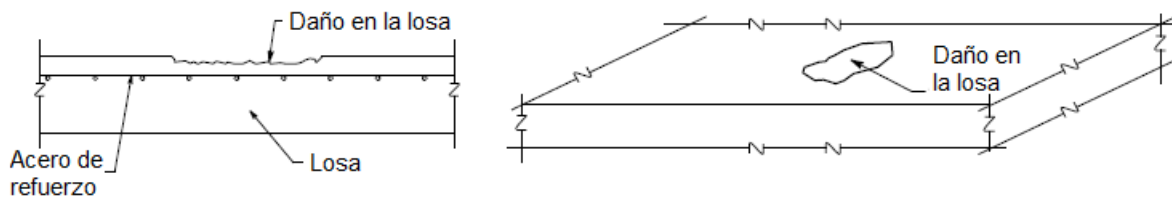


Figura 4. Daño en la losa.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por debajo del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto (l_d) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

- Utilizar aire comprimido para eliminar la arena, polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

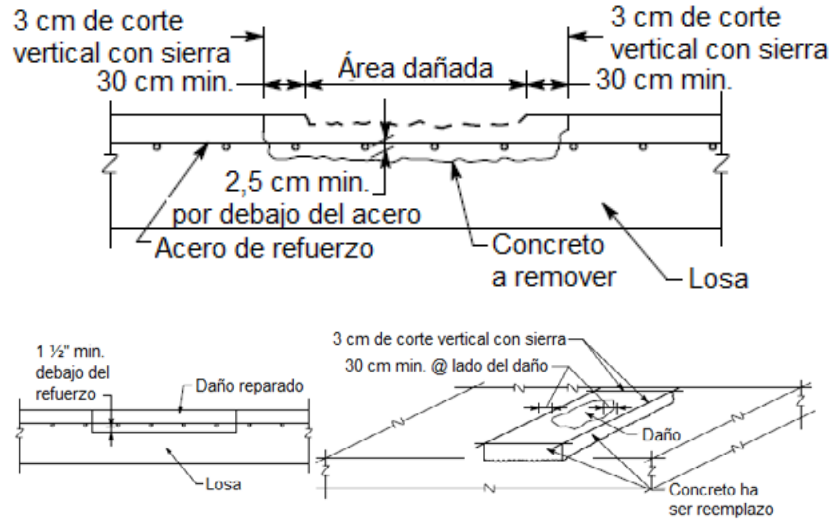


Figura 5. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

- Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

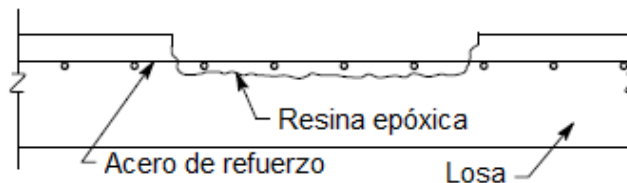


Figura 6. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

- Chorrear el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
- Nivelar la superficie de la losa de concreto antes que el concreto endurezca.
- Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y permitir que desarrolle el 80 % de la resistencia a la compresión o esperar 14 días después de la reparación antes de la apertura del tránsito.
- Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

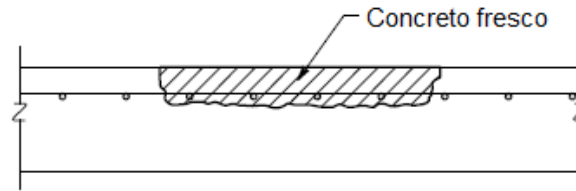


Figura 7. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

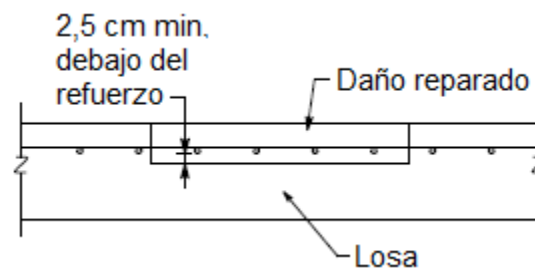


Figura 8. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D01-MP-B1 Reparación de acero expuesto en una baranda tipo New Jersey

Objetivo: reestablecer la funcionalidad de la baranda y asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor.

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en la parte superior o en la totalidad de una baranda tipo New Jersey.
2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
3. No se debe soldar el acero de refuerzo.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.
6. Este procedimiento de reparación está intencionado para daños graves con acero expuesto en la baranda.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310 : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.

- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, f_y : 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Esmeril angular
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 603: reparación parcial o reposición total de barandas de puentes del MCV-2015
- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015 Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015
- Actividad 815.03 – Standard Barrier Top Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

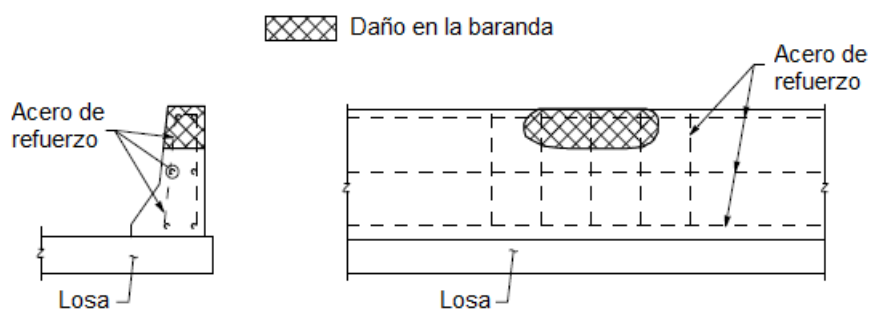


Figura 9. Daño en la baranda.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza el área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra a una profundidad de 3 cm. En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, todo el concreto del área demarcada. Se debe tener la precaución de no dañar el acero de refuerzo.

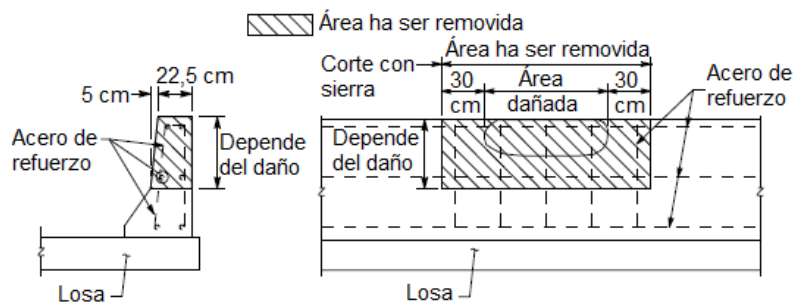


Figura 10. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
2. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal o se encuentre deteriorado de alguna otra manera, se deben cortar las varillas, con un esmeril angular, asegurándose de dejar 30 cm para poder traslapar las nuevas varillas.

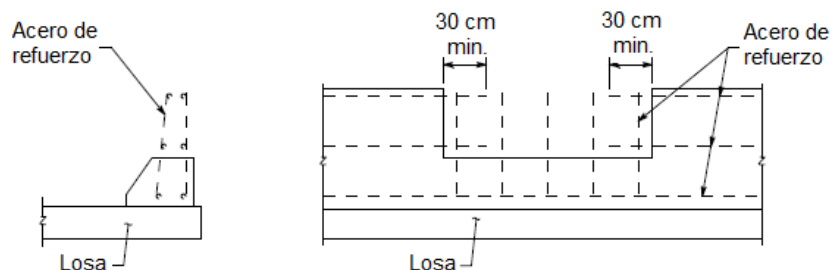


Figura 11. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Colocar las nuevas varillas de refuerzo (deben ser del mismo diámetro existente). Se deben fijar con alambre negro y tanto, las varillas nuevas como las viejas, se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.
2. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.
3. Colocar la formaleta, asegurándose de que la baranda nueva tenga la misma geometría que la baranda existente.
4. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

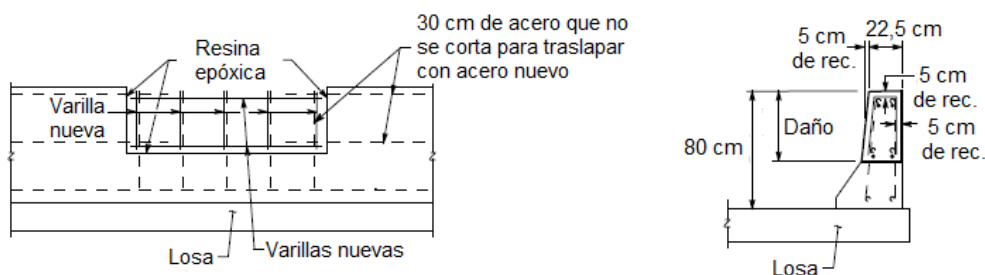


Figura 12. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

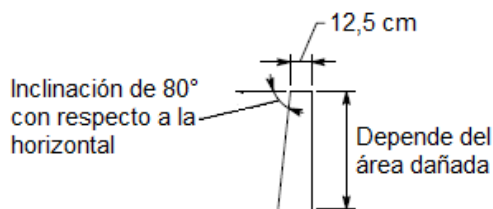


Figura 13. Detalle transversal del acero.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 4

1. Chorrear el concreto de relleno justamente después de colocar la resina epóxica (siguiendo las instrucciones del fabricante). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Posteriormente, se debe compactar mediante vibradores de inmersión.
2. Nivelar la superficie superior de la baranda con una llaneta para que tenga la misma geometría de la baranda existente.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.

4. Remover la formaleta, limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

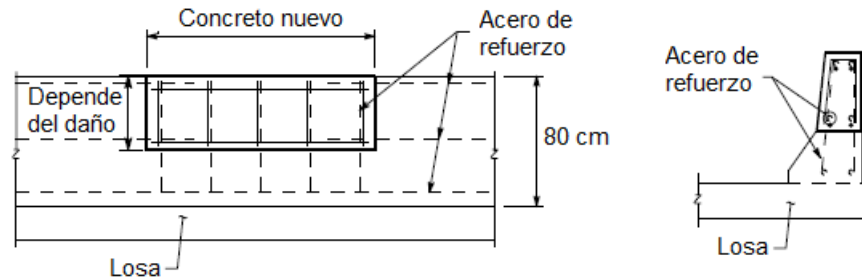


Figura 14. Paso 4.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la pila o bastión y evitar que los daños empeoren.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-P1 Reparación del descascaramiento en la pila o en el bastión.

Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. No se debe soldar el acero de refuerzo.
5. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310 : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.

- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015
- Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015
- Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

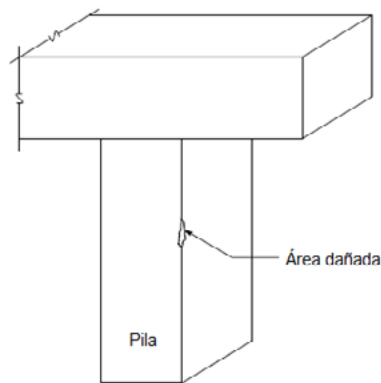


Figura 15. Daño en la pila o bastión.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.

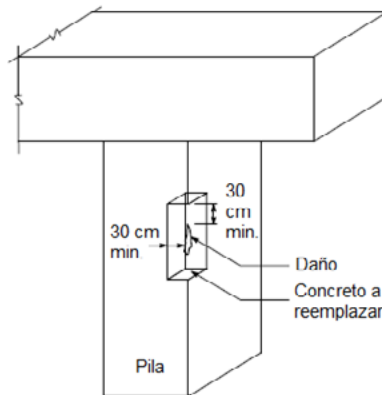


Figura 16. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
2. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
3. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
4. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto (l_d) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.
5. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

6. Colocar la formaleta, asegurándose de que la pila o bastión mantenga la misma geometría que la existente.
7. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

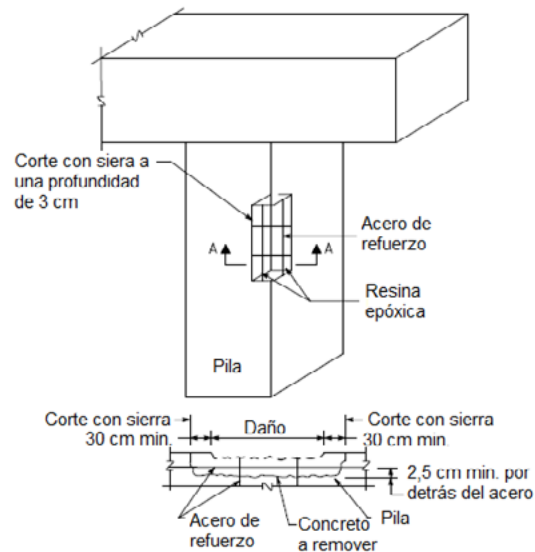


Figura 17. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Chorrear el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

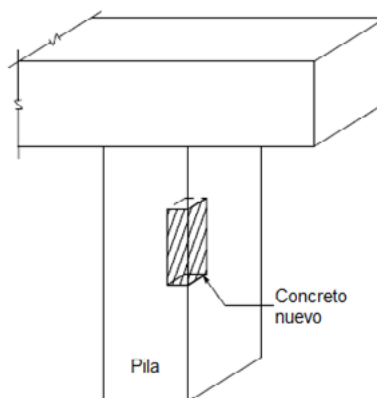


Figura 18. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

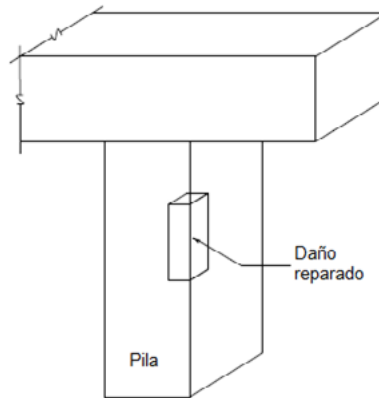


Figura 19. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de las vigas y evitar que los daños se agraven.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

Notas generales

1. Este procedimiento NO se puede llevar a cabo en vigas pretensadas o postensadas.
2. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
5. No se debe soldar el acero de refuerzo.
6. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
7. En caso de que el área dañada sea mayor a 2500 (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310 : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015
- Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015
- Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

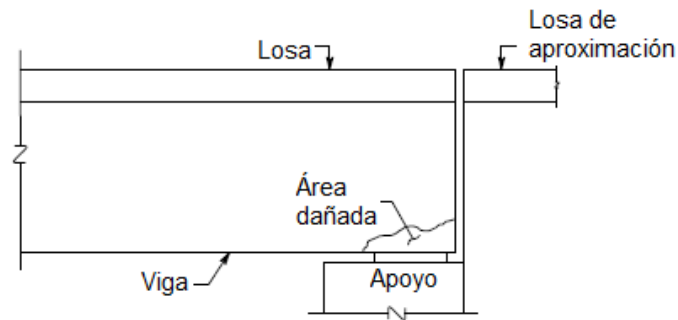


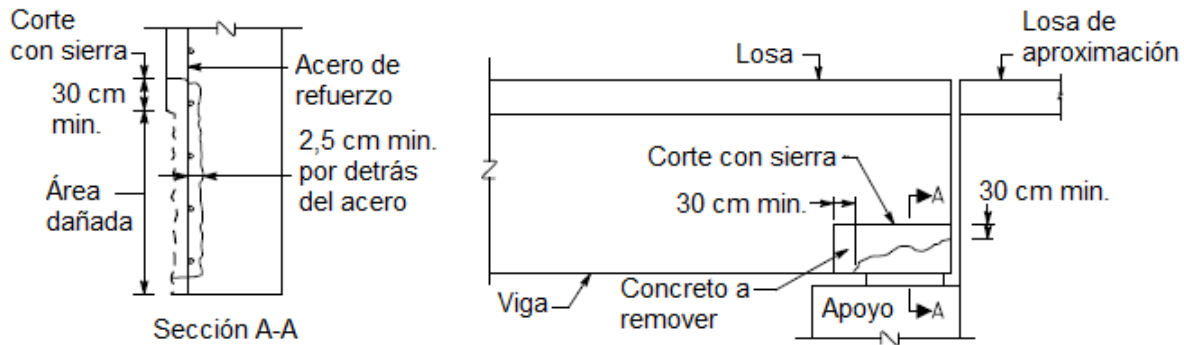
Figura 20. Daño en la viga.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

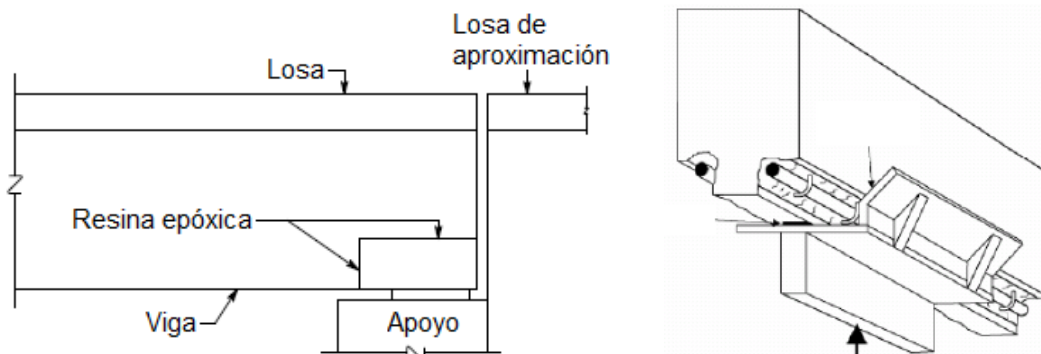
1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto (ℓ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.
6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

**Figura 21. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2.

1. Colocar la formaleta, asegurándose de que la viga mantenga la misma geometría que la existente.
2. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

**Figura 22. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012) y JICA (2014), respectivamente.

Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

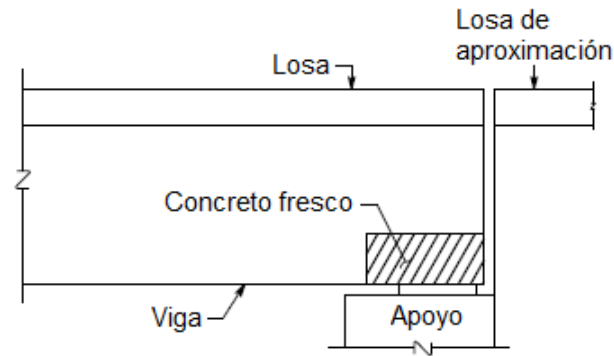


Figura 23. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

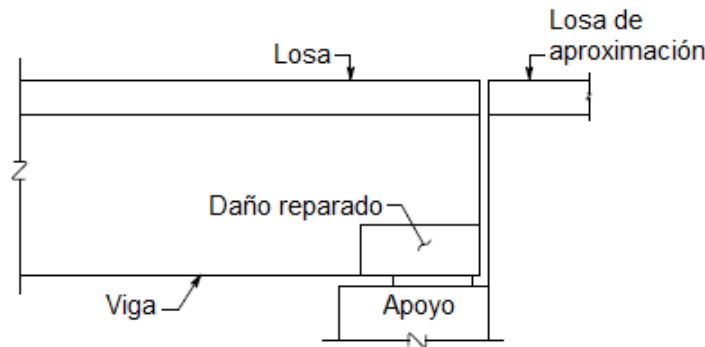


Figura 24. Daño reparado

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D01-MP-T1 Reparación de acero expuesto mediante la instalación de ánodos galvánicos embebidos

- Objetivo:** reestablecer la integridad funcional y estructural de los elementos de concreto, mediante la instalación de ánodos galvánicos, para evitar que los daños empeoren y extender la vida útil de los elementos.
- Criterio:** este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo algún procedimiento de este tipo.

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de concreto.
2. Este procedimiento NO se debe aplicar en vigas pretensadas o postensadas. Además, en vigas de concreto reforzado, en caso de que el área dañada sea mayor a 2500 (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.

3. Se recomienda el uso de este procedimiento en estructuras expuestas a cloruros, por ejemplo, en ambientes marinos.
4. Si el área de la reparación es de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr el acceso a dicha área. Esto puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura ambiente sea mayor a 32 °C.
6. No se debe soldar el acero de refuerzo.
7. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Los procedimientos más comunes para reparar los daños por acero de refuerzo expuesto son los que implican la remoción del concreto dañado por concreto nuevo (procedimientos propuestos anteriormente). Sin embargo, este tipo de reparación (remover y hacer parches) en estructuras de concreto expuestas a cloruros pueden fallar prematuramente, debido a un efecto llamado anillo-anódico, también conocido como “aureola” (*halo* en inglés) (ACI E706, 2010). Este efecto se da en las áreas adyacentes a la reparación, debido a la incompatibilidad electroquímica entre el acero de refuerzo dentro de la zona reparada y el acero embebido dentro del concreto adyacente (ACI E706, 2010). En la siguiente figura, se puede observar el efecto anillo-anódico.

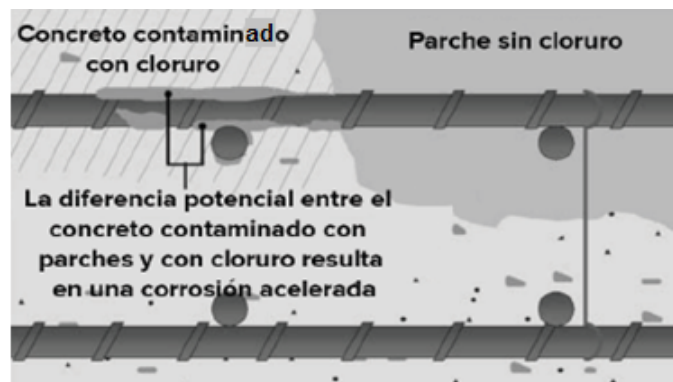


Figura 25. Aceleración del proceso de corrosión en las áreas adyacentes a una reparación en estructuras expuestas a cloruros (efecto anillo- anódico).

Fuente: ACI E706 (2010).

Debido a este efecto, en lugar de solamente reparar el daño físico, tal y como lo hace el método de reparación convencional, es que se desarrollan los *ánodos de zinc* embebidos para proteger el acero de refuerzo de la corrosión subyacente. Estos ánodos galvánicos embebidos suministran una pequeña corriente eléctrica, por medio de una reacción natural, mediante la cual el ánodo se corroe para proteger el acero de refuerzo en las proximidades de la zona reparada (ACI E706, 2010).

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310 : se debe preparar, transportar, colocar, vibrar y curar de acuerdo con la sección 552 del CR-2010.

- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Ánodos galvánicos y alambre para atarlos al acero de refuerzo.
- Lechada a base de cemento: para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

Herramientas

- Tiza
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Generador portátil
- Martillo demoledor
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire
- Medidor de ohmios (corriente directa) capaz de leer de 0 a 200 ohmios
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015
- Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015
- Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010, del MCV-2015
- Procedimiento para la instalación de ánodos galvánicos embebidos del ACI RAP-8S.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.

- Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por debajo del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
- Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
- En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto () de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual.
- Utilizar aire comprimido para eliminar la arena, polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto. El acero debe quedar totalmente limpio con un acabado metálico brillante para facilitar la buena conexión eléctrica entre los ánodos y las varillas.

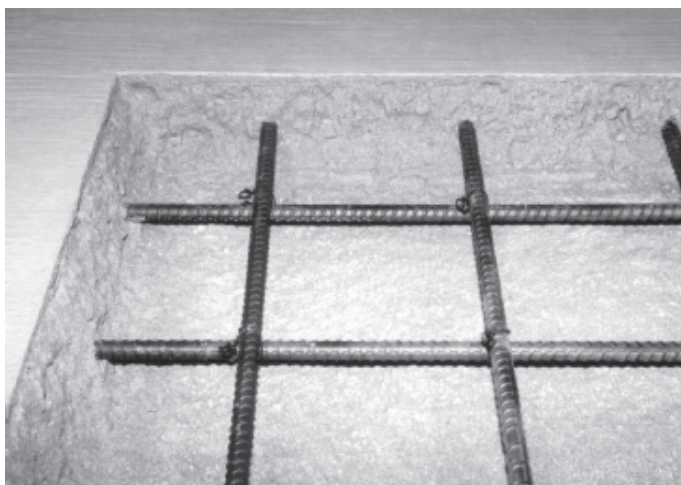


Figura 26. Paso 1.

Fuente: ACI E706 (2010).

Paso 2

- Previo a la instalación de los ánodos galvánicos, se debe verificar la continuidad eléctrica del acero de refuerzo, mediante el uso de un ohmímetro.

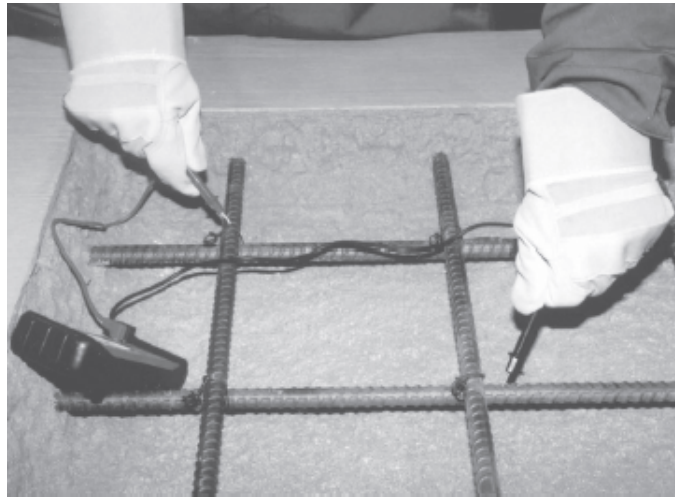


Figura 27. Paso 2.
Fuente: ACI E706 (2010).

Paso 3

1. Atar, con alambre, los ánodos galvánicos al acero de refuerzo. El espaciamiento entre estos lo determina el fabricante, ya que depende de la densidad del acero, la corrosividad del ambiente y la masa de zinc del ánodo. De acuerdo con lo establecido por el (ACI E706, 2010), se debe dejar un espacio mínimo entre los ánodos y las superficies de concreto de por lo menos 19 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.) o, 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg.) mayor al tamaño máximo nominal del agregado grueso que se utilizará en el concreto de relleno (se deja el mayor espacio entre ambas medidas). Además, se debe mencionar que en caso de que exista menos de 2,5 cm (1 pulg.) de recubrimiento, el ánodo se debe colocar por detrás del acero de refuerzo, es decir, lejos de la superficie de concreto.

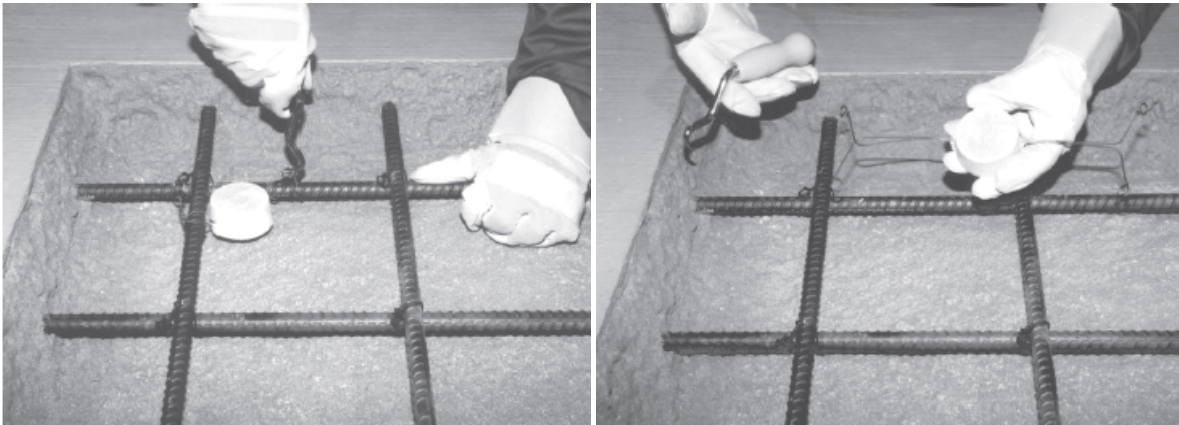


Figura 28. Paso 3.
Fuente: ACI E706 (2010).

Paso 4

1. Luego de haber instalado los ánodos, se debe verificar la conexión eléctrica entre los ánodos y el acero de refuerzo. La resistencia de esta conexión debe ser menor a 1 ohmio.

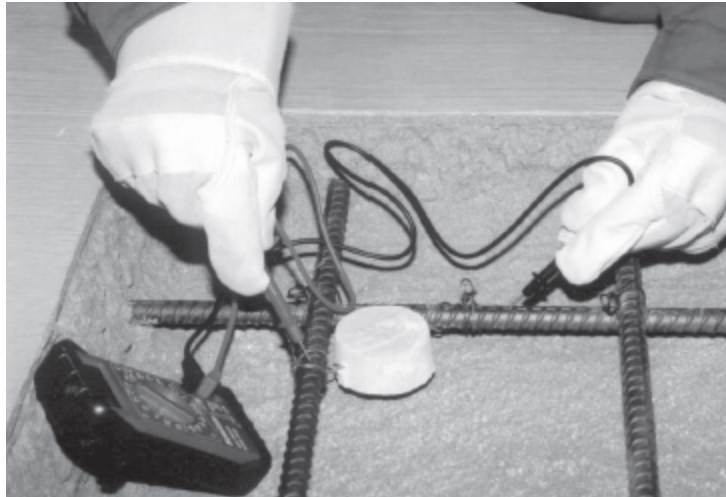


Figura 29. Paso 4.
Fuente: (ACI E706, 2010).

Paso 5

1. Para mejorar la adherencia entre la superficie de concreto existente (la superficie debe estar limpia, sana y firme) con la de concreto fresco se puede colocar una lechada de cemento. Sin embargo, para este procedimiento NO se deben utilizar resinas epóxicas o morteros modificados con polímeros para mejorar la adherencia, porque son materiales de alta resistividad (aislantes) que reducen considerablemente la corriente disponible y, por lo tanto, impiden que los ánodos funcionen correctamente.
2. Chorrear el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la lechada y compactar mediante vibradores de inmersión (verificar que los ánodos galvánicos se cubran completamente). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Como se mencionó anteriormente, el concreto no debe ser modificado con polímeros y se debe resaltar que la resistividad de los materiales de relleno debe ser menor a 15000 ohm-cm.
3. Nivelar la superficie del elemento de concreto antes que el concreto endurezca, verificando que los ánodos galvánicos se hayan cubierto completamente.
4. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y, en el caso de las losas, permitir que desarrolle el 80 % de la resistencia a la compresión o esperar 14 días después de la reparación, antes de la apertura del tránsito.
5. Por último, se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

D02 Remoción de la eflorescencia

Definición: se refiere al carbonato de calcio que se encuentra en la superficie de concreto y se observa como manchas blancas en el concreto. Se puede dar en cualquier elemento de concreto.

Posibles causas

- El óxido de calcio (proveniente de la piedra caliza, componente del clínker) es soluble en agua y se disuelve para formar hidróxido de calcio, el cual puede migrar a la superficie del concreto por acción capilar a causa de la evaporación del agua en el concreto o la filtración del agua a través de las grietas. Cuando llega a la superficie reacciona con el dióxido de carbono y se forma el carbonato de calcio (no soluble en agua), el cual es el origen de las manchas blancas en el concreto.
- Ambientes húmedos.

Posibles consecuencias

- No causa problemas estructurales, sin embargo, si se encuentra en una grieta significa que posiblemente existe corrosión en el acero.
- Señal de humedad en el área.
- Afecta la estética del puente.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la eflorescencia en diferentes elementos de concreto.



Figura 30. Eflorescencia en diferentes elementos de concreto.

Fuente: PEEP (2018).

D02-MR-T1 Remoción de la eflorescencia mediante métodos manuales

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Debido a su baja productividad, se debe considerar únicamente en caso de que el área afectada no sea extensa (leer nota general #2).

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.
2. Debido a su baja productividad, se debe considerar únicamente en caso de que el área afectada no sea extensa, es decir que, en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño 2 o inferior. En caso de que la puntuación sea mayor (daño más grave o en este caso, más extensa el área de la eflorescencia), se recomienda aplicar el procedimiento D02-MR-T2 Eliminación de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica.
3. No se requiere mano de obra especializada.
4. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
6. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales

Herramientas

- Lija de agua para concreto
- Cepillo de cerdas de acero
- Escobas
- Escobillas

Especificaciones: Sección 4.1.7 Cepillado manual, 4.1.5 Lijado Manual, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Se debe cepillar o lijar manualmente la superficie de concreto afectada hasta la completa remoción de la eflorescencia. En el caso de la lija, se tiene que humedecer con agua y se debe pasar haciendo movimiento circulares y enérgicos sobre la superficie.

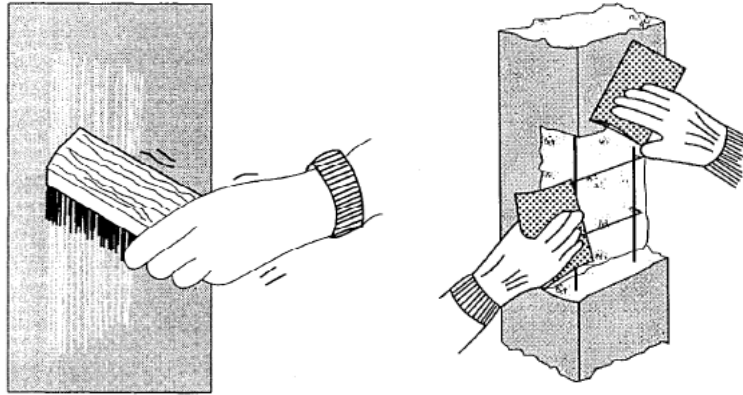


Figura 31. Cepillado y lijado manual.

Fuente: Do Lago Helene (1997).

D02-MR-T2 Remoción de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Es muy eficiente para cualquier área de extensión de eflorescencia, sin embargo, se debe considerar que se necesita un generador portátil (leer nota general #2).

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.
2. Debido a su alta productividad, este método se debe considerar siempre que haya disponible un generador portátil. Además, se recomienda este método en caso de que el área afectada sea muy extensa, es decir, que en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño mayor de 2.
3. Utilizar la lijadora electromecánica para eliminar la eflorescencia produce mucho polvo por lo que es indispensable el uso de mascarillas y anteojos de seguridad por parte de los trabajadores.
4. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
6. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales

Herramientas

- Disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica o a un esmeril angular
- Generador portátil
- Escobas
- Escobillas

Especificaciones: 4.1.6 Lijado Eléctrico, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. En la superficie de concreto afectada, se debe mantener la lija paralela a la superficie que se está tratando, procurando hacer movimientos circulares.
2. Se debe aplicar hasta eliminar completamente la eflorescencia u otras impurezas del concreto.
3. Al terminar, se debe limpiar el polvo del área lijada y las áreas adyacentes, con una escoba.

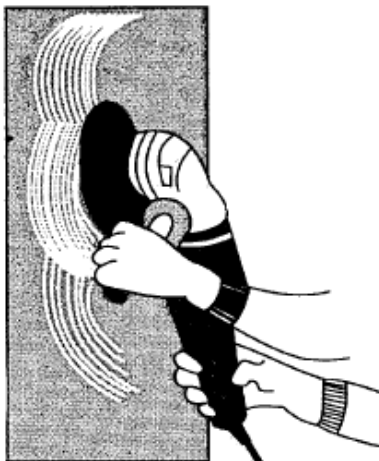


Figura 32. Lijado utilizando una lijadora electromecánica.

Fuente: Do Lago Helene (1997).

D02-MR-T3 Remoción de la eflorescencia lavando con soluciones ácidas

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Eficiente para la limpieza de grandes áreas donde no haya acero expuesto o próximo a la superficie (leer nota general #2)

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.

2. Su empleo es aconsejado para la limpieza de grandes áreas, es decir, que en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño mayor de 2. Además, solamente se puede aplicar para tratamientos de limpieza superficial, donde no exista descascaramiento, grietas o acero de refuerzo expuesto, debido a que existe la posibilidad de infiltración de agentes ácidos en la estructura.
3. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
5. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

Especificaciones de los materiales

- Ácido muriático

Herramientas

- Pulverizador (rociador)
- Brocha
- Pincel
- Escoba
- Escobillas

Especificaciones: 4.2.4 Lavado con soluciones ácidas, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Antes de aplicar en la superficie de concreto afectada, se debe saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración del ácido en el concreto sano.
2. Preparar la solución de ácido muriático diluido en agua, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
3. Aplicar la solución en el área afectada utilizando un pulverizador, brocha, pincel, escoba o escobilla. La efervescencia es señal de descontaminación. Inmediatamente después de la reacción, lavar la estructura con abundante agua limpia, para la remoción de las partículas sólidas y residuos de la solución utilizada.

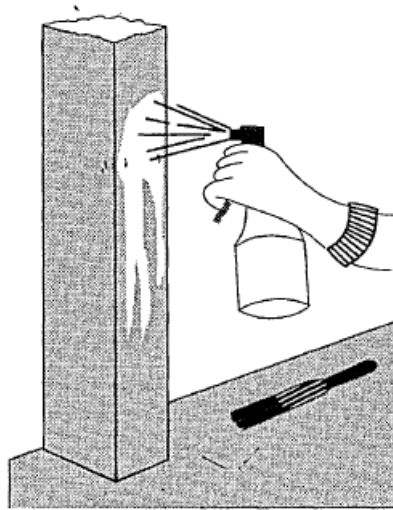


Figura 33. Lavado con soluciones ácidas.

Fuente: Do Lago Helene (1997).

D03 Reparación de nidos de piedra

Definición: es la segregación del agregado grueso en la mezcla de concreto.

Elementos en los que se pueden dar nidos de piedra:

1. Viga principal o diafragma de concreto
2. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Se da debido a procesos de construcción inadecuados, por ejemplo: chorrear el concreto desde una altura considerable, alto revenimiento con mucha vibración o bajo revenimiento con poca vibración, exceso o inexistencia de vibrado. Esto causa que el concreto se segregue, formando los nidos de piedra al endurecerse.
- Si el espaciamiento entre las varillas de acero o armadura y formaleta es menor al estipulado por el ACI, causa que el agregado grueso se quede atascado en estas zonas causando nidos de piedra.

Posibles consecuencias:

- Disminuye la durabilidad del concreto, debido a que no desarrolla la resistencia de diseño, además, se acumula maleza, polvo, basura, entre otros, afectando a mediano plazo la vida útil del concreto.
- El recubrimiento de concreto no protege adecuadamente el acero, por lo que se presentan problemas de corrosión en el acero de refuerzo.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar nidos de piedra en diferentes elementos de concreto.



Figura 34. Nidos de piedra en el concreto.

Fuente: PEEP (2018).

D03-MP-P1 Reparación de nidos de piedra en el cuerpo principal del bastión o pila

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la pila o bastión y evitar que los daños empeoren.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de nido de piedra.

Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. No se debe soldar el acero de refuerzo.
5. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 255 : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015

- Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

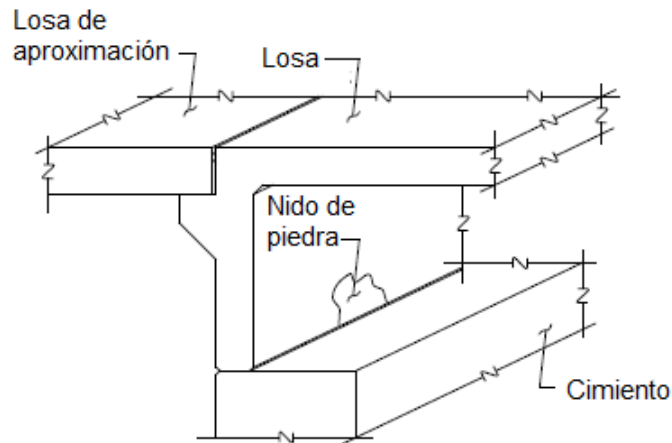


Figura 35. Daño en la pila o bastión.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro de arena debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto (ℓ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.
7. Colocar la formaleta, asegurándose de que la pila o bastión mantenga la misma geometría que la existente.

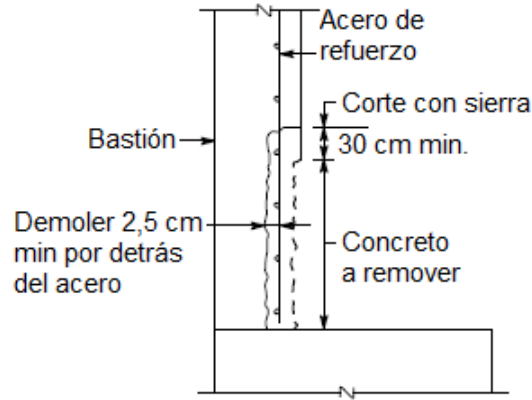


Figura 36. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

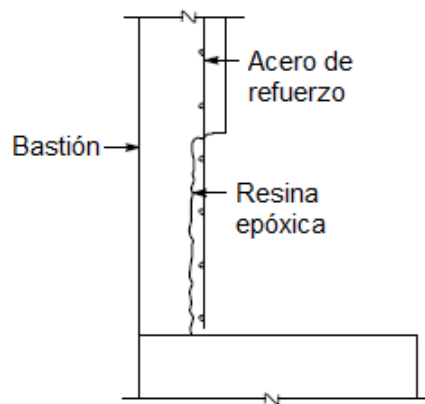


Figura 37. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.

3. Cortar con sierra 2 cm de la esquina inferior del bastión (ver detalle en la siguiente figura).
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

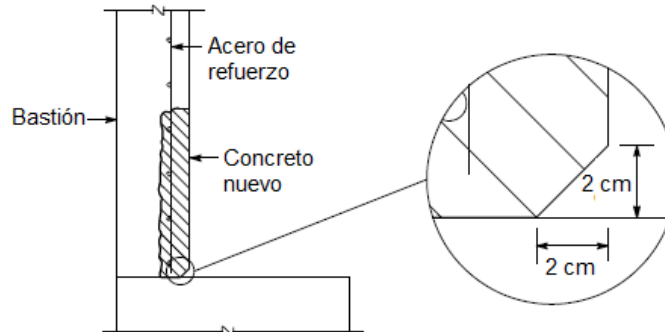


Figura 38. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

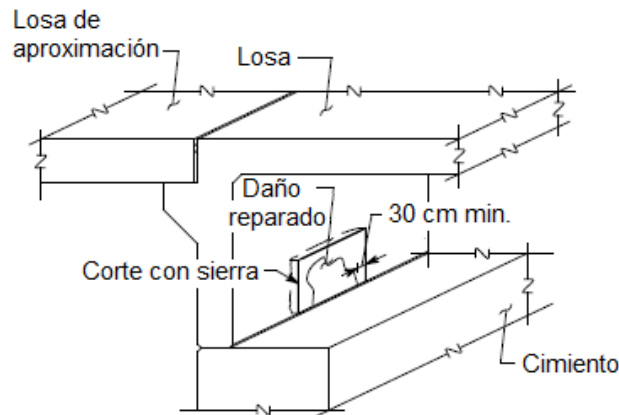


Figura 39. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D03-MP-V1 Reparación de nidos de piedra en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, y evitar que los daños empeoren.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de nido de piedra.

Notas generales

1. Este procedimiento NO se puede llevar a cabo en vigas pretensadas o postensadas.
2. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.

3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
5. No se debe soldar el acero de refuerzo.
6. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
7. En caso de que el área dañada sea mayor a 2500 (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 255 : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015
- Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

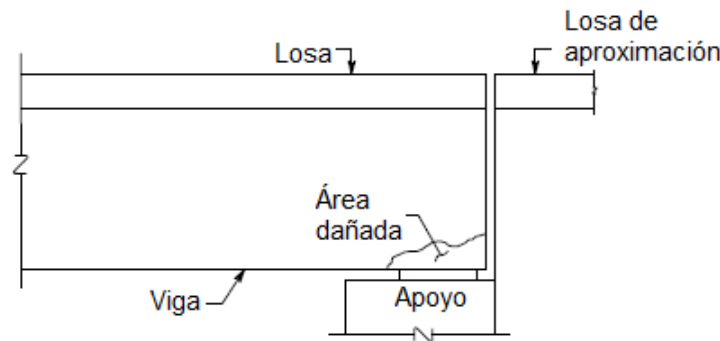


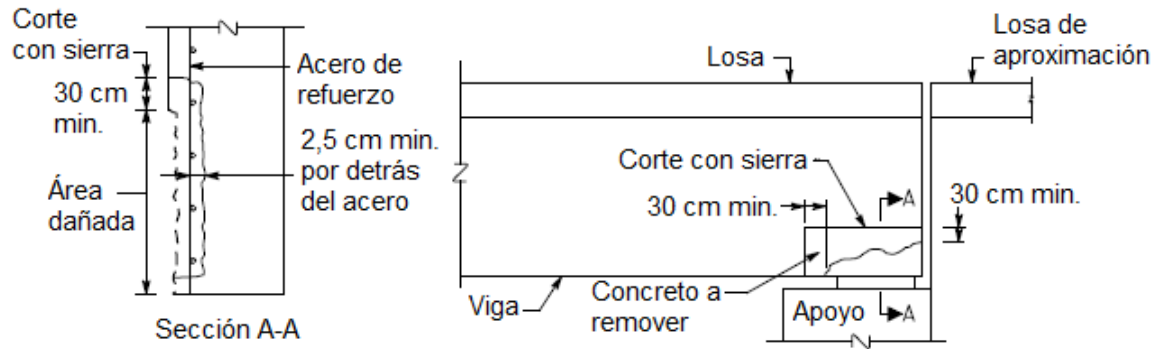
Figura 40. Daño en la viga.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

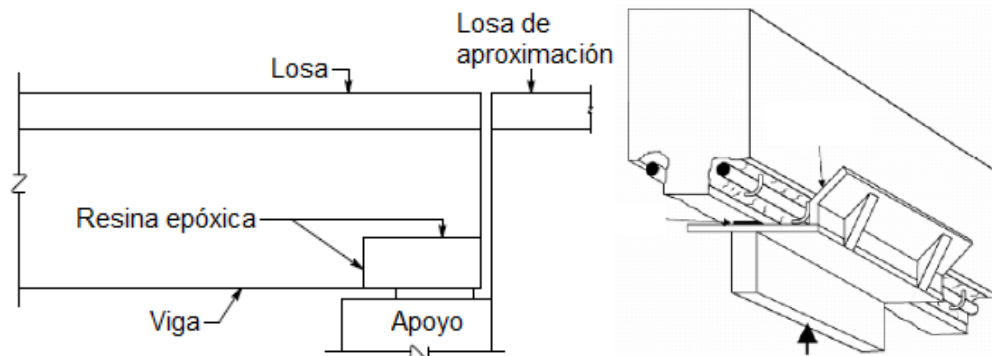
1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto (ℓ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.
6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

**Figura 41. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2.

1. Colocar la formaleta, asegurándose de que la viga mantenga la misma geometría que la existente.
2. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

**Figura 42. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012) y JICA (2014), respectivamente.

Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

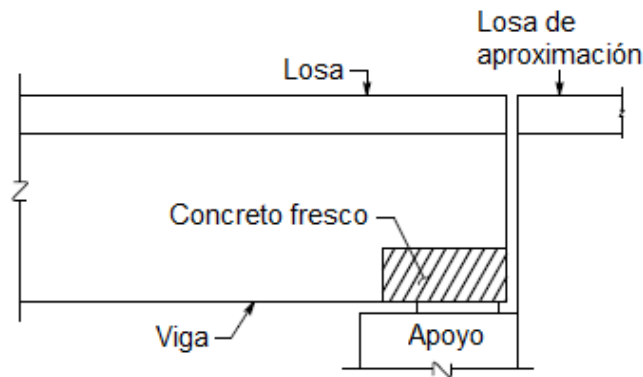


Figura 43. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

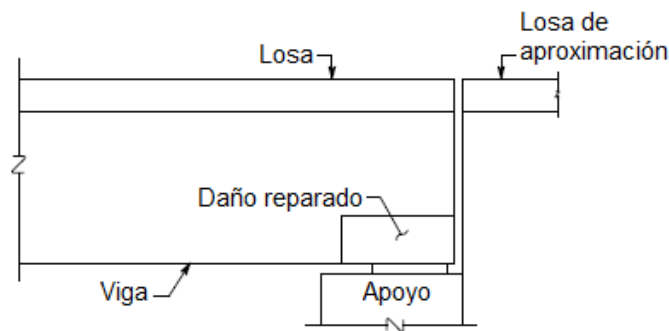


Figura 44. Daño reparado

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D04 Reparación del descascaramiento

Definición: es la delaminación o el desprendimiento de una superficie de concreto en algún elemento de concreto reforzado.

El descascaramiento se puede dar en los siguientes elementos:

1. Losa
2. Baranda de concreto
3. Viga principal o diafragma de concreto
4. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Malas prácticas constructivas, por ejemplo, formación de nidos de piedra, o que el concreto no desarrolle la resistencia adecuada debido a que se omiten pruebas de control de calidad como la de resis-

tencia a la compresión y revenimiento. También puede pasar por: remoción prematura o inadecuada de la formaleta, curado insuficiente, entre otras.

- Cuando el acero se corroe, aumenta su volumen, causando la delaminación del concreto, esta corrosión puede ocurrir por: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras. A la hora de la reparación, se debe tomar en cuenta que los límites de la corrosión suelen ser más grandes que el área de delaminación.
- Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.
- En caso de que circulen cargas vehiculares mayores a las de diseño, ya que provocan compresión excesiva en el concreto.
- Carbonatación: sucede cuando el dióxido de carbono presente en el ambiente reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y con el hidróxido de calcio (alto pH), formando carbonato de calcio (pH más neutral). Cuando el concreto disminuye su pH, disminuye su capacidad de proteger el acero. Según (Emmons, 1994), es un proceso muy lento que avanza aproximadamente 1 mm por año en concreto de buena calidad y para que suceda requiere de un cambio constante en los niveles de humedad del concreto (seco-húmedo). Cuando la carbonatación llega al acero, se corroe causando delaminación.
- Ataque de cloruros.
- Filtración de agua a través de las grietas.

Posibles consecuencias:

- Si llega hasta el acero causa, este se oxida y, posteriormente, se corroe, afectando la capacidad estructural del elemento.
- Si ocurre en una parte del concreto sometido a compresión puede significar la disminución de la capacidad soportante del elemento.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el descascaramiento en diferentes elementos de concreto.



Figura 45. Descascaramiento del concreto.

Fuente: PEEP (2018).

D04-MP-L1 Reparación del descascaramiento en la losa

Objetivo: mantener la losa en buenas condiciones para prevenir daños más graves, tales como, baches, acero expuesto, corrosión, entre otros, y asegurar un tránsito cómodo y fluido para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de la losa.

2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura sea mayor a 32 °C.
3. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes, del MCV-2015
- Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010
- Actividad 810.01 – Deck Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

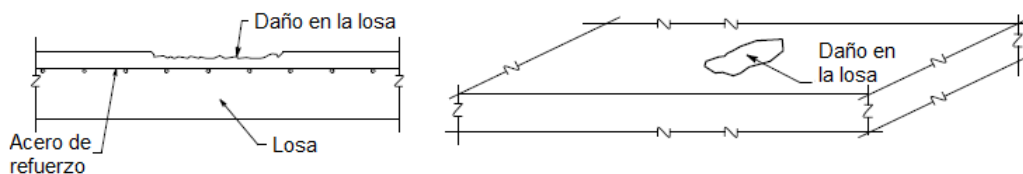


Figura 46. Daño en la losa.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente a la misma profundidad del descascaramiento.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa.
4. Utilice aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

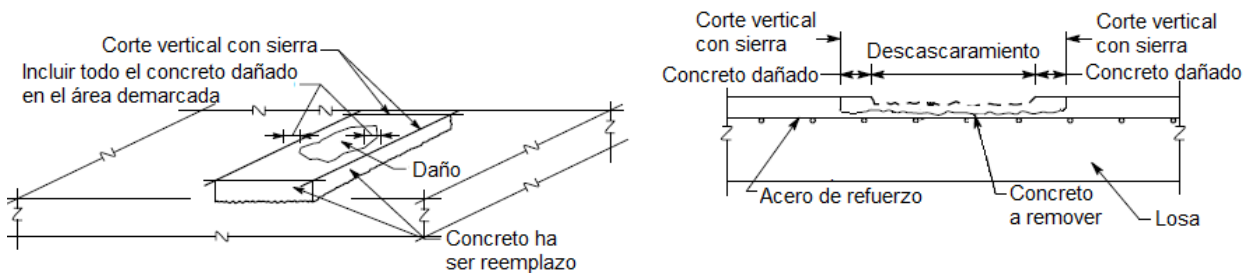


Figura 47. Paso 1

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Antes de colocar el mortero, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (siguiendo las instrucciones del fabricante) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

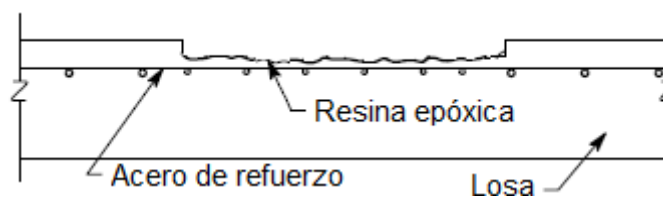
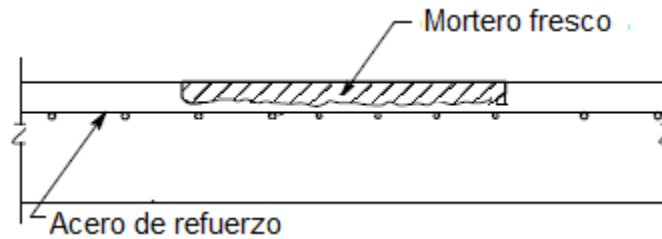


Figura 48. Paso 2

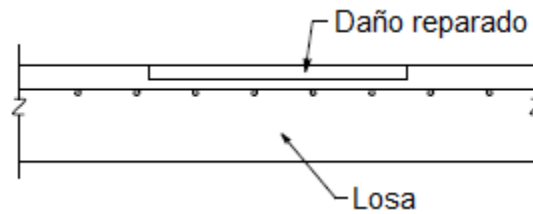
Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Darle acabado a la superficie de la losa de concreto con una llaneta antes que el mortero endurezca.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

**Figura 49. Paso 3**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

**Figura 50. Daño reparado**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

**Figura 51. Daño antes y después de la reparación.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D04-MP-P1 Reparación del descascaramiento en la pila o en el bastión

Objetivo: mantener las pilas y bastiones en buenas condiciones para prevenir daños más graves, como el acero expuesto.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes del MCV-2015
- Actividad 830.15 – Cap-Column Spall Repair – Surface del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

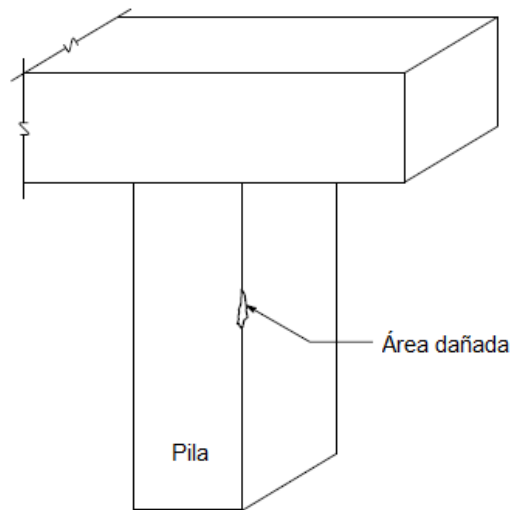


Figura 52. Daño en la pila o bastión.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.

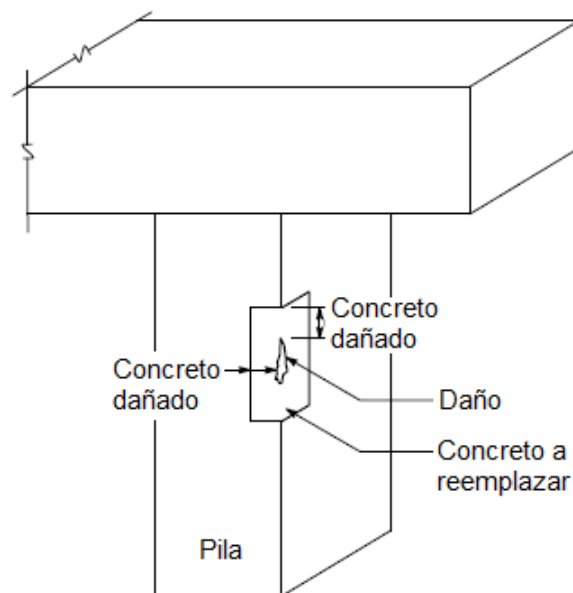


Figura 53. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente a la misma profundidad del descascaramiento.
2. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila.
3. Utilice aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.
4. Antes de colocar el mortero, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (siguiendo las instrucciones del fabricante) para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido.

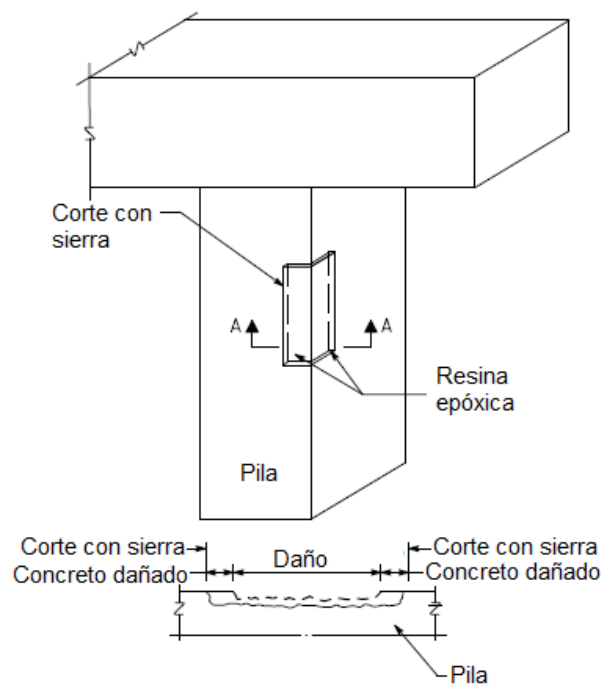


Figura 54. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Darle acabado a la superficie de concreto del bastión o pila con una llaneta antes que el mortero endurezca.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

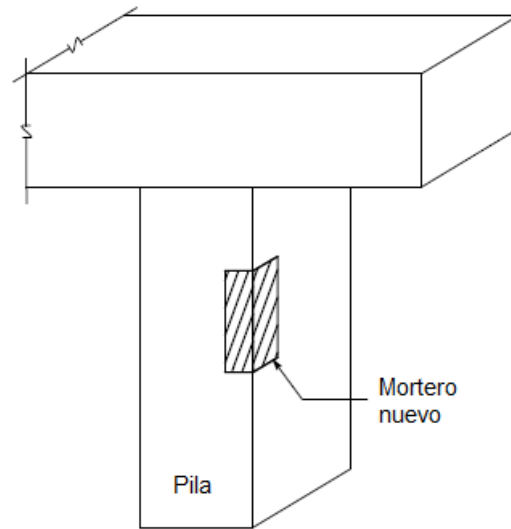


Figura 55. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

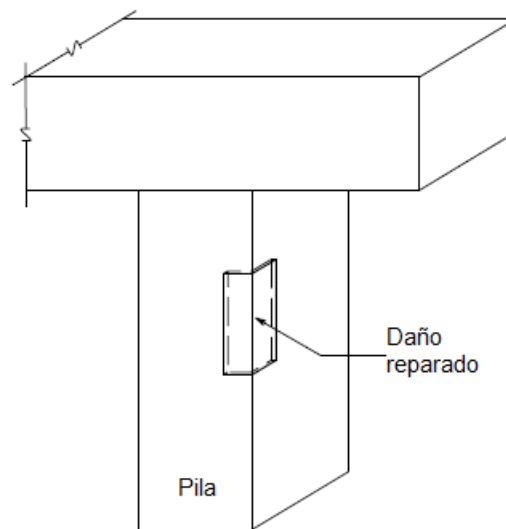


Figura 56. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D04-MP-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa

Objetivo: mantener las vigas principales, diafragmas de concreto y la parte inferior de las losas en buenas condiciones para prevenir daños más graves, como el acero expuesto.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de

ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes del MCV-2015
- Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

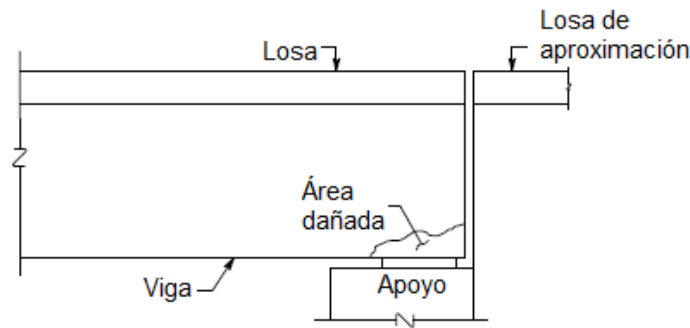


Figura 57. Daño en la viga.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra a la misma profundidad del descascamiento.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.
4. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

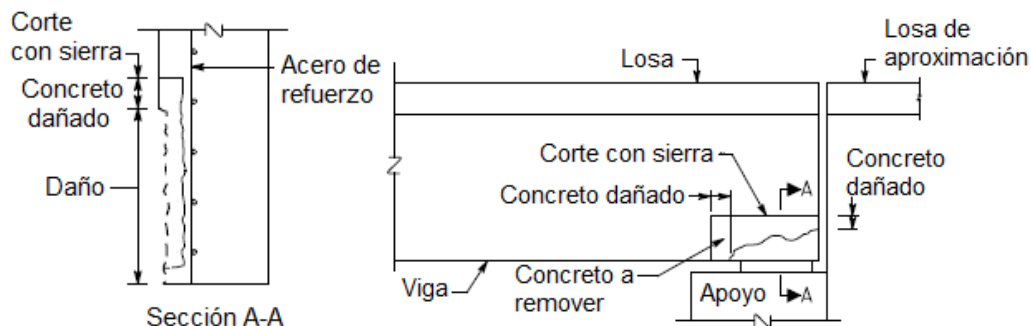


Figura 58. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2.

1. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

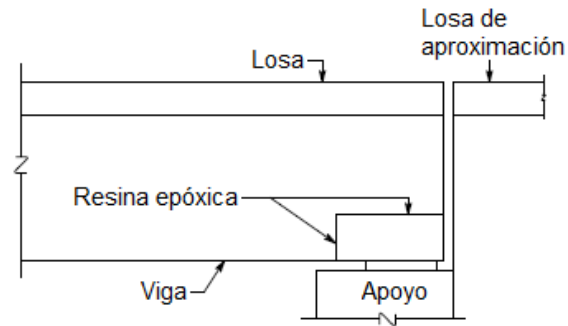


Figura 59. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Darle acabado a la superficie de concreto del bastión o pila con una llaneta antes que el mortero endurezca.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

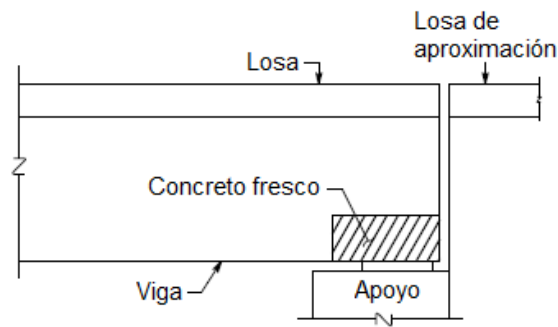


Figura 60. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

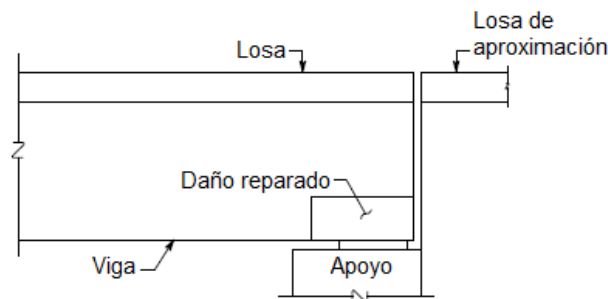


Figura 61. Daño reparado

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D05 Reparación de juntas obstruidas

Definición: se refiere a que la junta ha sido obstruida, ya sea por suciedad, escombros, sobrecapas de asfalto, entre otros.

Posibles causas

- Principalmente se da por prácticas de mantenimiento inadecuadas, por ejemplo, la colocación de sobrecapas de asfalto.
- Falta de limpieza para la remoción de suciedad, escombros, maleza, piedras, entre otros.

Posibles consecuencias

- Impide el movimiento adecuado de la junta disminuyendo su funcionalidad. En el caso de sobrecapas de asfalto, se generan grietas en la superficie de rueda a lo largo de la junta, además, que impide darle mantenimiento a la junta.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar juntas obstruidas.



Figura 62. Juntas obstruidas.

Fuente: PEEP (2018).

D05-MR-J1 Limpieza general del puente

Objetivo: limpiar manualmente todos los elementos del puente para remover toda la suciedad, basura, escombros, vegetación, aceite, colonias de animales u otros, y de esta forma permitir que los elementos funcionen de manera adecuada para brindar seguridad y comodidad a los usuarios.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar al menos una vez al año. También, es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con una obstrucción de juntas de grado 4 o menor.

En caso de que se encuentre un grado 5 (obstrucción por sobrecapa de pavimento), se recomienda, primeramente, aplicar el procedimiento D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de ruedo de concreto asfáltico, y luego aplicar el procedimiento D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión.

Notas generales

1. Según la Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
2. Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
3. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Aceite lubricante o grasa para los apoyos.

Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión (camión cisterna, bomba de agua, mangueras, etc.)
- Escaleras.
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, machete, entre otros.

Especificaciones: Sección 601: limpieza manual de puentes, del MCV-2015.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Barrer y cepillar las barandas, aceras, calzada, pasarelas peatonales, vigas, zona de los apoyos, juntas de expansión, bastiones, aletones, entre otros, para remover toda la suciedad, basura, escombros, vegetación, aceite, colonias de animales u otros.



Figura 63. Limpieza manual del puente.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

2. Lavar con agua a presión la estructura para eliminar toda la suciedad y agentes extraños restantes, teniendo la precaución de no dañar la pintura. Generalmente se inicia en el punto más alto hacia el punto más bajo de la estructura. También, se deben limpiar los drenajes del puente, asegurándose de que no quede basura, suciedad, escombros u otros, atascados en el ducto.



Figura 64. Lavado con agua a presión.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).



Figura 65. Limpieza de los drenajes.

Fuente: JICA (2014).



Figura 66. Limpieza de los apoyos.

Fuente: JICA (2014).

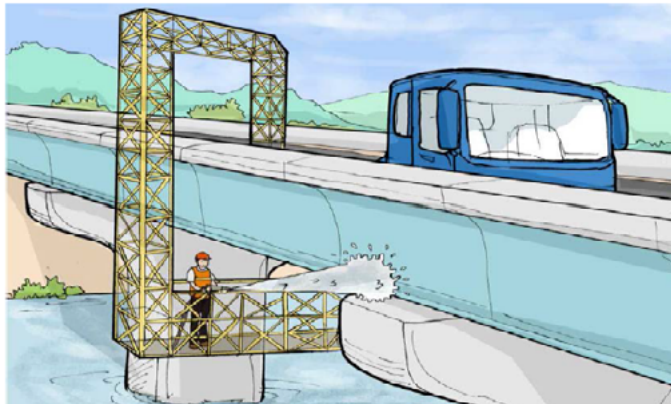


Figura 67. Limpieza de las vigas con la ayuda de un vehículo de inspección.

Fuente: JICA (2014).

3. Secar y lubricar los apoyos con aceite lubricante o grasa.
4. Remover las ramas, troncos, basura, etc., que se encuentren acumuladas alrededor de las pilas. Esto se puede llevar a cabo mediante equipo mecanizado o un vehículo de inspección.



Figura 68. Remoción de ramas de las pilas.

Fuente: JICA (2014).

5. En caso de necesitar remover la vegetación del derecho de vía, se debe hacer de acuerdo con lo mencionado en la Sección 102 Manejo de la vegetación menor en la zona del derecho de vía y la Sección 103 Manejo de la vegetación mayor en la zona del derecho de vía del MCV-2015.



Figura 69. Remoción de la vegetación del derecho de vía.
Fuente: JICA (2014).

6. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

D06 Reparación de la corrosión

Definición: es una disminución en la sección transversal del elemento de acero.

Elementos en los que se puede dar la corrosión:

1. Baranda de acero
2. Viga principal de acero
3. Sistema de arriostramiento

Posibles causas

- Falta de mantenimiento a los elementos de acero, se debe remover la oxidación para evitar el inicio del proceso de corrosión.
- Falta de protección superficial como pintura anticorrosiva.
- Comúnmente, se observa en las vigas debido a la filtración de agua a través de la junta y drenajes, lo cual acelera el proceso de corrosión.

Posibles consecuencias

- Cuando el refuerzo de acero se corroe, se afecta la capacidad estructural del elemento. Según (Emmons, 1994), en vigas a flexión a partir de un 1,5 % de corrosión la resistencia empieza a disminuir y con una corrosión de 4,5 %, la capacidad última de la viga se reduce aproximadamente 12 %.

- El elemento disminuye la capacidad de soportar cargas.
- En caso de sistemas de arriostramiento, también causa la pérdida de estabilidad lateral.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la corrosión en elementos de acero.



Figura 70. Corrosión en elementos de acero.

Fuente: PEEP (2018).

D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero para obtener una superficie sana, limpia y así detener el avance de la corrosión, además de prevenirlo aplicando pintura anticorrosiva para extender el periodo de vida útil del elemento de acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de oxidación y para un grado de corrosión de 4 o menor, pero solamente si se ha perdido menos del 20 % de la sección transversal del elemento. Si se ha perdido más de un 20 %, se debe aplicar algún método de reforzamiento.

Únicamente, es aplicable en caso de que la superficie de acero sea nueva o que toda la pintura existente sea removida, en caso de que el elemento de acero tenga pintura en buen estado se debe aplicar el procedimiento D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado.

Notas generales

1. Según la Subsección 563.03 del CR-2010, para pintar los elementos de acero, se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA.
2. Antes de empezar, se debe comprobar que la superficie de acero se encuentra en un rango de temperatura entre 10 y 40 °C. Añadido a esto, se debe comprobar que la humedad es del 85 % o menor, exceptuando que el fabricante del producto lo especifique de otra manera.
3. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
4. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
5. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Pintura anticorrosiva: según el sistema de pintura seleccionado, se deben seguir las normas respectivas de la Subsección 708.05 Pintura para estructuras de acero, del CR-2010.

Los sistemas de pintura dependen del tipo de ambiente al que estarán expuestos los elementos de acero. En la siguiente, se pueden observar los sistemas de pintura estipulados por el CR-2010.

Cuadro 2. Sistemas de recubrimiento para hierro y acero estructural en superficies nuevas o superficies con toda la pintura removida.

Capa	Sistema de pintura ⁽¹⁾				
	1	2	3	4	5
	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)
Base	Zinc inorgánico tipo I 75-100 µm seco	Zinc inorgánico 75-100 µm seco	Uretano curado húmedo 50-75 µm seco	Látex acrílico 50-75 µm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 µm aeco
Intermedia	Epóxico 75-100 µm seco	Epóxico 75-100 µm seco	Uretano curado húmedo 50-75 µm seco	Látex acrílico 50-75 µm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 µm aeco
Superior	Uretano alifático 50-75 µm seco	Uretano alifático 50-75 µm seco	Uretano curado húmedo 50-75 µm seco	Látex acrílico 50-75 µm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 µm aeco
Espesor total	200-275 µm seco	200-275 µm seco	150-225 µm seco	150-225 µm seco	150-225 µm seco

- (1) Los sistemas 1, 2 o 3 son para protección a la corrosión de hierro o acero en ambientes propensos a la corrosión como ambientes marinos, industriales o de alta humedad. Sistemas 4 o 5 son para los ambientes libres de altas concentraciones de sales o contaminantes causantes de ambientes de alta corrosión.

Fuente: MOPT (2010)

Herramientas

- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire para la limpieza de la superficie
- Generador portátil
- Brochas (redondeadas o planas con un ancho menor a 12 cm), rodillos (solo se pueden utilizar en superficies planas) o rociadores de pintura sin aire o convencionales con filtros para excluir el aceite o agua del aire comprimido (el aire comprimido debe cumplir la norma ASTM D 4285).
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 613: preparación y protección de superficies de puentes, del MCV-2015
- Sección 563.) Pintura, del CR-2010.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Se debe limpiar la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, escamas, suciedad, insectos, vegetación, escombros, pintura vieja, aceites o alguna otra sustancia líquida. Esto se debe llevar a cabo mediante la utilización de chorro de arena hasta llegar al metal blanco siguiendo las especificaciones de la norma SSPC-SP 10. No se debe utilizar arena sin lavar o abrasivos que contengan suciedad, sales, aceites u otras. De acuerdo con lo mencionado en la Subsección 563.07 del CR-2010, la limpieza debe llevarse a cabo con escorias limpias y secas, con arena mineral, polvo o limaduras de acero, asegurándose de que produzcan un patrón de anclaje con una altura de 25 a 50 micrómetros (no debe ser menor que lo recomendado por el fabricante del sistema de pintura). Este patrón debe ser medido mediante el método de la cinta adhesiva de la norma ASTM D 4417.
2. Posteriormente, se debe remover toda la suciedad, polvo y otros desechos, producto de la limpieza con chorro de arena, mediante cepillado, o soplado con aire seco limpio (debe estar libre de aceite o humedad).
3. Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con chorro de arena.
4. Aplicar las capas de pintura anticorrosiva (las capas sucesivas deben ser de diferente color para evitar dejar áreas sin pintar) de manera uniforme, utilizando brocha, rodillo o rociador y siguiendo las especificaciones del fabricante. Además, se debe curar cada capa de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Es importante mencionar que se debe medir y ajustar el espesor de cada capa húmeda durante la aplicación, para que después de curar, se logre obtener el espesor de pintura deseado. En caso de que, alguna capa después de curada no alcance el espesor deseado, se debe volver a pintar hasta alcanzar dicho espesor.
5. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

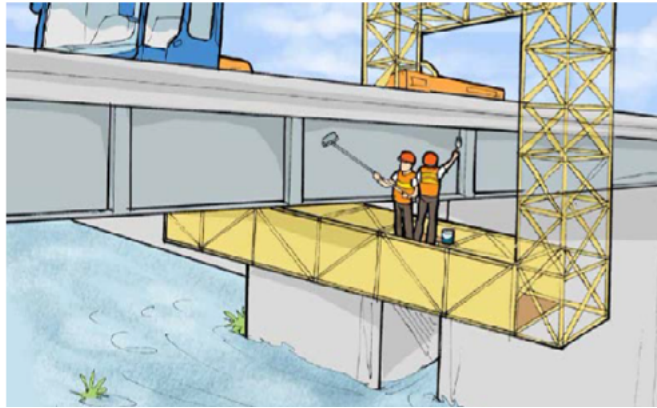


Figura 71. Pintado de vigas de acero con la ayuda de un vehículo de inspección.
Fuente: JICA (2014).

D07 Reparación de la oxidación

Definición: este daño se presenta cuando se forma una capa café-rojiza en la superficie del acero.

Elementos en los que se puede dar la oxidación:

1. Baranda de acero
2. Viga principal de acero
3. Sistema de arriostramiento

Nota: para evaluar el sistema de arriostramiento, el Manual de Inspección de Puentes, establece una calificación diferente, donde se califica más fuerte por un grado de oxidación menor, es decir, permite un grado de oxidación menor para los sistemas de arriostramiento. Sin embargo, para este caso, el décimo tercer daño más común “oxidación en sistemas de arriostramiento” se puede reparar mediante los procedimientos aquí establecidos.

Posibles causas

- Es causada por una reacción química debido al contacto del acero con el medio ambiente, específicamente con la humedad del aire y el agua.
- En ambientes húmedos o marinos (alto contenido de cloruro de sodio), es importante tratar la oxidación con la mayor brevedad posible, ya que estos factores aceleran la oxidación y posteriormente la corrosión.
- En vigas y sistemas de arriostramiento, comúnmente se observa cerca de las juntas (filtración de agua).

Posibles consecuencias

- No causa problemas estructurales, sin embargo, en caso de no tratarse empieza a aparecer la corrosión.
- Afecta la estética del puente.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la oxidación en elementos de acero.



Figura 72. Oxidación en elementos de acero.

Fuente: PEEP (2018).

D07-MR-T1 Eliminación de la oxidación mediante la limpieza con chorro de agua

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero para obtener una superficie sana, limpia y prevenir la disminución de su sección transversal (corrosión) mediante inhibidores de óxido para extender el periodo de vida útil de los elementos de acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento también es aplicable para cualquier grado de oxidación y para cualquier grado de oxidación en los sistemas de arriostramiento.

Notas generales

1. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.

2. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.

Especificaciones de los materiales

- Inhibidor de óxido: según el MCV-2015, debe cumplir con lo especificado en la norma SSPC-SP6.

Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión
- Equipo de aire a presión para el secado de la superficie
- Generador portátil
- Brochas, rodillos o pistolas de pintura
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 605: limpieza de superficies de puentes de concreto o acero con agua a presión, del MCV-2015.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Se debe limpiar toda la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, suciedad, insectos, vegetación, escombros, aceites o alguna otra sustancia líquida, hasta que la superficie de acero alcance un color mate uniforme. Esto se debe llevar a cabo mediante la utilización de chorro de agua a presión siguiendo las especificaciones de la norma SSPC-SP 12/NACE No 5, de la Steel Structures Painting Council. Es importante saber que a presiones menores de 70 MPa se eliminan los restos de óxidos, suciedad, escombros y picaduras, sin embargo, no se elimina el óxido profundo o corrosión. En este caso para que el acero alcance un color mate uniforme, se necesita utilizar una presión constante de 70 MPa. Es importante mencionar que el MCV-2015 no permite chorros de agua con una presión mayor a 70 MPa.
2. Secar la superficie mediante el equipo de aire a presión.
3. Cuando la superficie del área intervenida del elemento de acero se encuentre seca, aplicar el inhibidor de óxido (siguiendo las instrucciones del fabricante).
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



Figura 73. Limpieza de la superficie de acero con agua a presión.
Fuente: Federal Highway Administration (2018).

D08 Reparación de las filtraciones de agua en juntas de expansión

Definición: se refiere a la filtración de agua a través de la junta, es decir, la junta no cumple con su función impermeable.

Posibles causas

- Instalación inadecuada de la junta.
- Deterioro de la junta por estar expuesta a la intemperie y por el paso constante de vehículos.
- Inadecuado diseño de la junta acompañado con la ausencia de sello.
- Drenajes obstruidos, inexistentes o mal contruidos.
- Falta de mantenimiento.

Posibles consecuencias

- Deterioro (eflorescencia, oxidación, corrosión) de los elementos adyacentes a la junta, tales como, apoyos, losa, vigas, bastiones, etc., por esta razón, es importante corregir este daño, antes de aplicar procedimientos de mantenimiento a los elementos adyacentes a la junta.
- Corrosión en los elementos de acero de la junta.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la filtración de agua a través de las juntas.



Figura 74. Filtración de agua en juntas.
Fuente: PEEP (2018).

D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión por juntas de silicón

Objetivo: sustituir las juntas de expansión que se encuentran deterioradas para conservar el adecuado comportamiento estructural y funcional del puente.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de filtración de aguas que se dé a través de las juntas.

Se puede hacer una sustitución por juntas de silicona cuando el ancho de la abertura es menor a 6,35 cm (2 ½ pulgada). Según los anchos de abertura establecidos por el Manual de Inspección de Puentes, se pueden colocar juntas de silicona para reemplazar juntas abiertas y juntas selladas (reellenas o con sellos comprimidos de neopreno). Sin embargo, no se pueden utilizar para reemplazar juntas de placas de acero deslizante o juntas de placas dentadas.

Notas generales

1. Antes de aplicar este procedimiento, se deben limpiar los drenajes del puente. En caso de que sean inexistentes, se debe proveer al puente de los drenajes necesarios para garantizar un escurrimiento adecuado del agua.
2. Según la Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
3. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Tirilla de respaldo (*Backer Rod*)
- Silicón (polímero sintético) para sellado de juntas: según lo establecido en la Sección 712.) Material para juntas del CR-2010.

Herramientas

- Sierra de corte de concreto
- Esmeril angular con disco diamantado
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire para la limpieza de la superficie junta
- Pistola de silicón
- Guantes desechables
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes del MCV-2015
- Subsección 502.06 Reparación de Juntas y Grietas del CR-2010
- Actividad 800.01 – Bridge Deck Joint Sealing (Silicone), del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

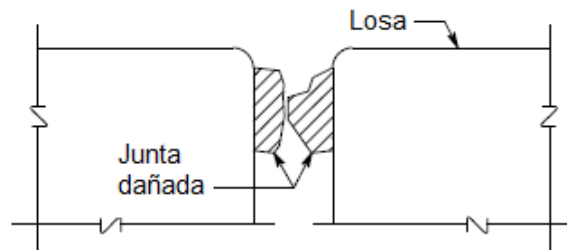


Figura 75. Junta deteriorada.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Remover completamente la junta dañada mediante métodos que no dañen el concreto adyacente. En caso de que sea necesario, se puede cortar con una sierra, el concreto adyacente a la junta (en forma de cajón y mínimo 2 mm en cada cara de la junta) para removerla totalmente. Para esto, primeramente se debe demarcar con tiza el perímetro del área a removerse. El corte debe ser vertical con una profundidad mínima de 5 cm, sin embargo, si se encuentra la armadura a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas. Posteriormente, se debe demoler el concreto hasta la profundidad necesaria para remover la junta, utilizando herramientas manuales o un martillo demoledor, procurando dejar paredes verticales con un mínimo de irregularidades.

Debe comprobarse que el concreto de las paredes y el fondo se encuentra en buenas condiciones, golpeando con un martillo su superficie, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Si no se encuentra sano, se debe continuar la demolición hasta encontrar concreto sano.

2. Utilizando un esmeril angular cortar los bordes superiores de la junta (ver detalle en la siguiente figura), se deben remover triángulos de 1,3 cm de lado.
3. Utilizando chorro de arena deben removerse todas las partículas sueltas de la superficie del área demolida. En caso de que la demolición no haya sido necesaria, igualmente se debe limpiar el área con chorro de arena. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
4. Posteriormente, se debe limpiar el polvo y la suciedad de la junta con un compresor de aire.

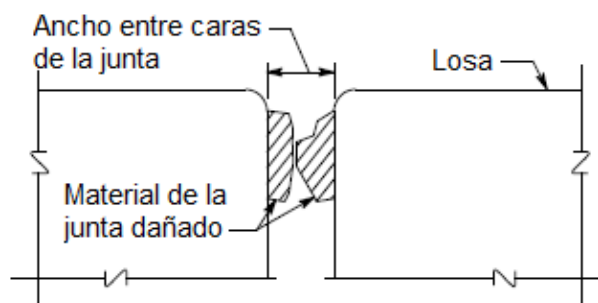


Figura 76. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Cuando las juntas se encuentren limpias y secas, se debe instalar el *Backer Rod* (siguiendo las instrucciones del fabricante). El ancho del *Backer Rod* debe ser un 25 % mayor al ancho de la junta. Se debe instalar entre una profundidad de 1,6 cm a 2,8 cm (ver detalle en la siguiente figura), de no ser que el fabricante lo especifique de otra manera. Durante su instalación, se debe procurar no retorcer o estirar el *Backer Rod* y se debe limitar el largo de su instalación a aquella que pueda ser sellada durante el mismo día de trabajo.

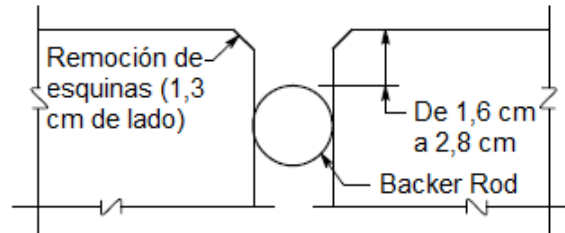


Figura 77. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Instalar el sellador de silicona inmediatamente después de instalar el *Backer Rod* para evitar el ingreso de agua, suciedad, polvo u otros a la junta. El sellador se debe colocar a las temperaturas del aire y superficie recomendadas por el fabricante. El equipo utilizado para colocar el sellador debe tener capacidad suficiente para colocar el volumen necesario de sellador (sin vacíos) en una sola pasada. Justamente después de la colocación, el sellador se debe repujar con alguna herramienta adecuada para asegurar un contacto firme con las caras de la junta y para formar la hendidura necesaria por debajo de la superficie de la losa (ver detalle en la siguiente figura). En caso de que la junta se contamine o se moje, antes de colocar el sellador, se debe retirar el *Backer Rod*, secar y repetir la limpieza.
2. Esperar a que el sellador seque adecuadamente (siguiendo las instrucciones del fabricante).
3. Limpiar de la superficie de rodamiento el excedente de sellador colocado.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

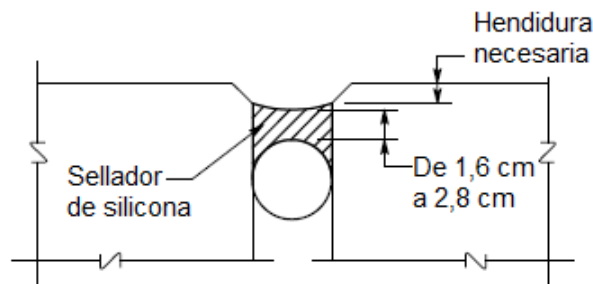


Figura 78. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



Figura 79. Daño antes y después de la reparación.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D09 Reparación de grietas en una dirección

Definición: se refiere a las grietas que se generan en los diferentes elementos de concreto, con excepción de las barandas.

Posibles causas

- Esfuerzos de flexión o cortante debido a las cargas vivas y muertas. En vigas las grietas de flexión son perpendiculares al refuerzo longitudinal e inician en las zonas que trabajan a tracción. En cambio, las grietas por cortante son diagonales y comúnmente ocurren en el alma de la viga.
- Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.
- Falta de curado en el concreto.
- Retiro prematuro de la formaleta.
- Sismos.
- Asentamiento de la cimentación.
- En bastiones, también se pueden dar por empuje de suelo.

Posibles consecuencias

- Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad estructural del elemento.
- Afectan la vida útil del elemento.
- Dependiendo del ancho de la grieta se puede afectar la capacidad de resistencia de cargas del elemento.
- Es un indicativo de futuros problemas en el elemento, por esta razón, es importante sellarlas.

Es importante tener a mano los anchos de grieta tolerables por el ACI 224R-01, para concreto reforzado bajo cargas de servicio. En caso de que los anchos de grieta sean mayores a los que se encuentran en el siguiente cuadro, se debe considerar algún procedimiento para corregir este daño.

Cuadro 3. Anchos de grietas tolerables en elementos de concreto reforzado bajo cargas de servicio.

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

Fuente: ACI 224R-01 (2001).

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar grietas en una dirección en elementos de concreto.



Figura 80. Grietas en una dirección.

Fuente: PEEP (2018).

D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión

Objetivo: mantener la condición estructural de los elementos de concreto reforzado y prevenir daños más graves, como la oxidación del acero y la posterior delaminación del concreto.

Criterio: este procedimiento se puede programar periódicamente, después de que hayan sido detectadas grietas con un grosor mayor a 0,33 mm (0,013") en una inspección visual de campo.

Notas generales

1. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de concreto.
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 30 °C o menor a 5 °C (con temperaturas bajas aumenta la viscosidad del epóxico).
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Sellante y relleno para juntas y grietas: se refiere a una resina epóxica para la inyección y también se puede utilizar un sellador epóxico (masilla epóxica) para sustituir el uso del mortero. Deben cumplir con lo mencionado en la Subsección 712.01 (a) del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Esmeril angular
- Generador portátil
- Equipo para chorro de arena, chorro de agua o pulidora (lijadora)
- Taladro percutor
- Pistola de inyección epóxica y boquillas de inyección
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Tiza
- Guantes desechables
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

Sección 606: limpieza y sellado de grietas en elementos de concreto en puentes del MCV-2015

Actividad 830.13 – Epoxy Injection (Cap and Columns) del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

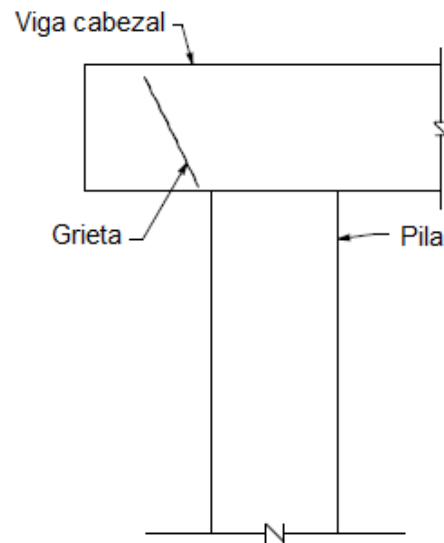


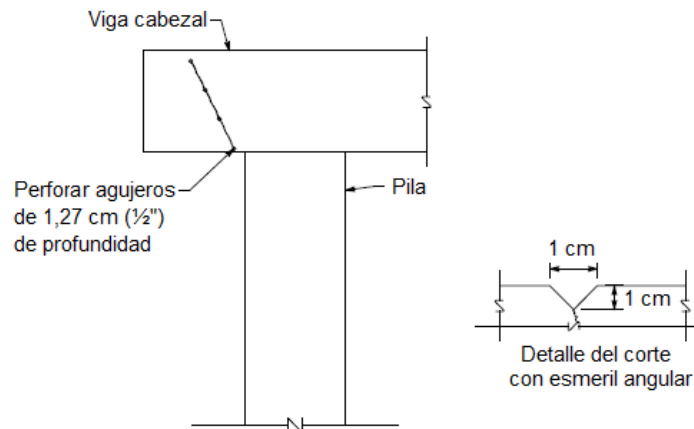
Figura 81. Grieta en la viga cabezal.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

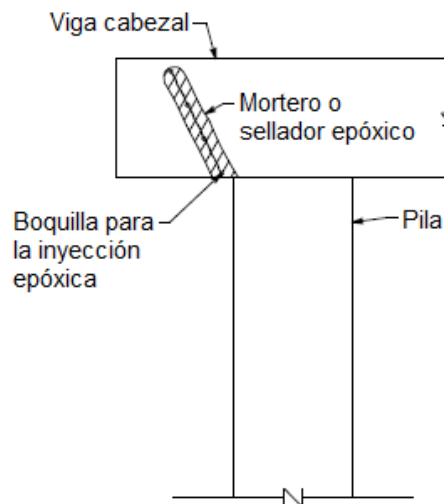
1. Definir la ubicación y longitud de las grietas en los elementos de concreto que tengan un ancho mayor que 0,33 mm (0,013"). Las grietas a intervenir se deben demarcar con tiza.
2. Utilizar el esmeril angular para hacer un corte en forma de "V" en toda la longitud de las grietas que se van a intervenir, con una profundidad mínima de 1 cm o hasta encontrar concreto sano y firme (ver el detalle del corte en la siguiente figura).
3. El área intervenida, así como 10 cm a cada lado, se debe limpiar utilizando chorro de arena, pulido (mediante lijadora o adaptándole un disco de lija a un esmeril angular), chorro de agua o algún procedimiento similar, eliminando toda la suciedad, polvo y material suelto. Por último, se debe limpiar con aire comprimido.
4. Localizar las grietas que se extienden a mayor profundidad que el área cortada y marcar con tiza los lugares donde se deben perforar agujeros para colocar las boquillas para la inyección epóxica. La distancia entre las boquillas no debe ser mayor al espesor del elemento, a la profundidad de la grieta o a 30 cm.
5. Utilizando un taladro percutor, perforar los agujeros en los puntos señalados con una profundidad de 1,27 cm (1/2").

**Figura 82. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Instalar las boquillas para la inyección epóxica de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
2. Colocar el mortero o el sellador epóxico (siguiendo las instrucciones del fabricante) en la totalidad del área cortada para sellar la grieta superficialmente y alrededor de las boquillas de inyección. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla de mortero se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
3. Permitir que el mortero o el sellador cure de forma adecuada, siguiendo las instrucciones del fabricante.

**Figura 83. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Una vez que el mortero o el sellador haya endurecido, verificar que exista un sistema abierto aplicando aire comprimido en todas las boquillas. Este procedimiento también sirve para expulsar restos de polvo, agua u otro contaminante de las grietas.

2. Preparar e inyectar el adhesivo epóxico de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se debe inyectar a presión constante (entre 276 KPa y 689 KPa) para lograr un completo llenado de la grieta y no incorporar aire en la resina epóxica. La inyección se debe iniciar en la boquilla de menor altura de la grieta y continuar hasta que el adhesivo comience a salir en la boquilla adyacente. Luego, se debe obturar el primer punto de inyección y continuar inyectando en el siguiente, y continuar así sucesivamente hasta haber inyectado en la totalidad de la grieta. En caso de que la grieta sea horizontal, la inyección se debe hacer de extremo a extremo.
3. Remover las boquillas y darle acabado a la superficie con mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

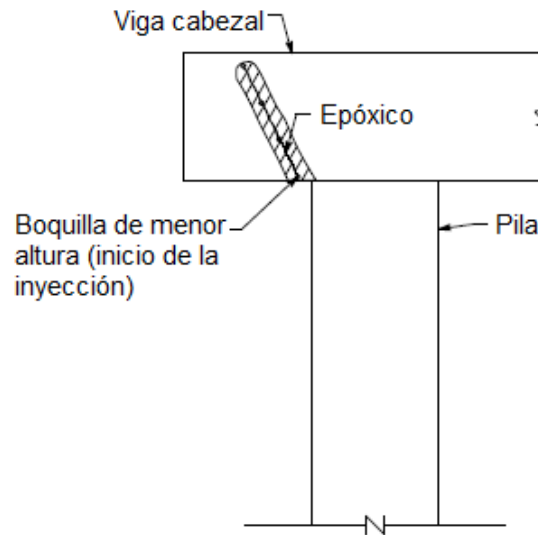


Figura 84. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012)..

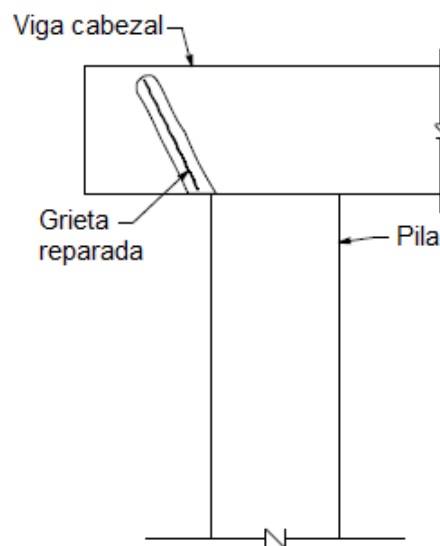


Figura 85. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D09-MP-L1 Sellado de grietas en losas de concreto o carpetas asfálticas

Objetivo: aplicar la norma ASTM D 6690 para sellar las grietas longitudinales y transversales en la superficie de rodamiento, y de esta forma asegurar que la superficie provea una protección impermeable a la losa, extendiendo su vida de servicio.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de grietas en una dirección de 3 o menor.

Notas generales

1. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
2. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Sellador asfáltico de grietas en caliente que cumpla con la norma ASTM D 6690.

Herramientas

- Generador portátil
- Sierra de corte de concreto
- Equipo para chorro de arena
- Compresor de aire
- Equipo para colocar el sellador asfáltico en caliente (hot tar pot)
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Norma ASTM D 6690
- Subsección 416.05 Limpieza, preparación y sello de grietas del CR-2010
- Procedimiento "Crack sealing on portland cement concrete decks" del Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection del Departamento de Transportes de Nueva York.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Utilizando una sierra de concreto, realizar un canal a lo largo de la grieta existente, con una misma profundidad que la grieta por sellar. La profundidad mínima de corte son 2 cm.



Figura 86. Paso 1.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

Paso 2

1. Remover la suciedad y escombros resultantes del corte con sierra.
2. Utilizando chorro de arena, se deben remover las partículas sueltas de las grietas cortadas. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
3. Utilizar aire comprimido para eliminar todo el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto de las grietas.



Figura 87. Paso 2.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

Paso 3

1. Cuando las grietas se encuentren totalmente limpias, se puede aplicar el sellador asfáltico de grietas en caliente, de acuerdo con lo mencionado en la norma ASTM D 6690.

2. Se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.
3. Permitir que el sellador alcance la resistencia inicial antes de abrir el paso al tránsito.



Figura 88. Paso 3.

Fuente New York State Department of Transportation (2008).



Figura 89. Daño reparado.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

D10 Remoción de sobrecapas de pavimento

Definición: hace referencia a la colocación de nuevas capas de pavimento sobre la superficie de ruedo existente.

Posibles causas

- Inadecuadas prácticas de mantenimiento debido a falta de conocimiento de las entidades encargadas de dicho mantenimiento.

Posibles consecuencias

- Aumentan considerablemente las cargas muertas del puente. Una sobrecapa de 7 cm en un ancho de vía de 10 m, una longitud de tramo de 30 m y considerando una densidad de 1,91 ton/m³ del pavimento, equivale a una carga total 40, 11 ton, la cual es similar a la carga máxima de un vehículo que pasa por el puente (MOPT, 2007).
- Afecta el funcionamiento adecuado de las juntas de expansión.
- Obstruye los drenajes, lo cual también representa un peligro a los conductores porque el agua se empoza en el puente.
- Se reduce la capacidad de carga viva que puede soportar el puente

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar sobrecapas de pavimento en las superficies de ruedo.



Figura 90. Sobrecapas de pavimento.

Fuente: PEEP (2018).

D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de ruedo de concreto asfáltico

Objetivo: remover las sobrecapas de pavimento para reestablecer la funcionalidad de los drenajes, juntas y la capacidad del puente de soportar cargas vivas. Además, colocar una nueva superficie de desgaste para proveer a la losa de una impermeabilización y protección, añadido a esto, se asegura un tránsito cómodo y seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar al menos, una vez cada 12 años. También es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de sobrecapas de pavimento de 3 o mayor.

Notas generales

1. Para no restringir totalmente el paso del tránsito, se debe aplicar el procedimiento en un carril a la vez y controlar el paso por medio de banderilleros.
2. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
3. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Mezcla asfáltica: el diseño, mezclado, suministro, colocación y compactación del concreto asfáltico se debe hacer de acuerdo con lo estipulado en la División 400. Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales, del CR-2010.
- Liga asfáltica: el riego de liga asfáltica se debe llevar a cabo de acuerdo con lo mencionado en la Sección 414.) Riego de liga asfáltica (tack coat).
- Impermeabilización: se deben considerar los materiales necesarios para llevar a cabo la impermeabilización de la losa de concreto, de acuerdo con lo mencionado en la Sección 559.) Impermeabilización (agua), del CR-2010.

Herramientas

- Perfiladora
- Vagoneta
- Aspersion de emulsión asfáltica.
- Pavimentadora asfáltica
- Rodillo neumático o liso
- Compresor de aire
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 612: reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico en puentes del MCV-2015

- División 400. Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales y la Sección 559.) Impermeabilización (agua), del CR-2010.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Utilizando maquinaria para perfilado, demoler todas las sobrecapas de pavimento del puente. Se debe demoler hasta encontrar el concreto de la losa del puente. Se puede llevar a cabo una prueba de extracción de núcleos para verificar la profundidad a la que se encuentra la losa de concreto antes de llevar a cabo la demolición.
2. Con escobas, limpiar la superficie (fondo y paredes) del área demolida para remover todo el material suelto.
3. Utilizar aire comprimido para eliminar toda la arena, polvo y suciedad restante. La superficie del área demolida debe quedar firme, lisa y totalmente limpia.

Paso 2

1. Antes de colocar la nueva superficie de riego, se debe impermeabilizar la losa mediante la colocación de una membrana. Esto se debe hacer según lo estipulado en Sección 559.) Impermeabilización (agua), CR-2010.



Figura 91. Paso 2.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

Paso 3

1. Se debe recubrir la superficie del área demolida con un riego de liga de acuerdo con lo mencionado en la Sección 414.) Riego de liga asfáltica (*tack coat*), del CR-2010. Para esto se deben utilizar aspersores de emulsión asfáltica que permitan esparcir la liga uniformemente. Antes de aplicar el recubrimiento se debe verificar que la superficie se encuentre seca y a una temperatura mayor de 10 °C.

2. Colocar la mezcla asfáltica. Se debe extender y nivelar mediante el uso de rastrillos de manera que sobresalga aproximadamente 6 mm sobre el pavimento circundante. La colocación de la mezcla asfáltica también se puede llevar a cabo mediante el uso de una pavimentadora.
3. Posteriormente, se debe realizar la compactación mediante un rodillo neumático o liso que tenga un peso compatible con la capacidad soportante de la estructura de paso. El desnivel máximo tolerable entre la superficie reparada y el pavimento circundante es de 3 mm. Antes de iniciar la compactación, se debe verificar que la temperatura de la mezcla colocada no sea inferior a 110 °C, ni menor a 80 °C al finalizarla.
4. Por último se debe, limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



Figura 92. Paso 3.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

D11 Socavación en el bastión

Definición: se refiere a la pérdida de material en los cimientos de los bastiones.

Posibles causas de la socavación

- Erosión del suelo o pérdida de material a causa de la acción del agua.
- Remolinos que se forman cerca de la cimentación del bastión.
- Insuficiente capacidad hidráulica.
- Cimentaciones con insuficiente desplante o carecen de protección.

Posibles consecuencias de la socavación

- Pérdida de estabilidad del bastión, comprometiendo toda la estructura.
- Asentamientos diferenciales.
- Derrumbes en los taludes pudiendo llevar al colapso parcial o total del talud.
- Afecta la capacidad de carga de la fundación.
- Daños en las fundaciones por el impacto de troncos y rocas, que inclusive pueden llegar a fracturar los pilotes.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la socavación en bastiones.



Figura 93. Socavación en bastiones.
Fuente: PEEP (2018).

D11-MR-P1 Limpieza de los cauces para prevenir la socavación

Objetivo: remover con equipo mecánico, troncos, ramas, basura, rocas, sedimentos, entre otros, que no permitan el flujo adecuado del agua a través de la estructura, los cuales disminuyen la capacidad hidráulica del puente y pueden llegar a ocasionar daños graves en caso de crecidas. Además, pueden provocar socavación.

Criterio: este procedimiento se debe llevar a cabo anualmente, antes del periodo de lluvias.

Notas generales

1. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
2. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales.

Herramientas

- Motosierra
- Equipo mecanizado, mínimo: *back hoe* y vagoneta. También se pueden requerir, retroexcavadoras.
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: palas, pico, machete, carretillo, sogas, entre otros.

Especificaciones: Sección 602: limpieza de cauces en puentes, del MCV-2015.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Con equipo mecanizado, remover troncos, ramas, basura, rocas, sedimentos y demás obstáculos, que no permiten el flujo adecuado del agua a través de la estructura y que pueden ocasionar socavación en pilas y bastiones. Aguas arriba del puente se debe limpiar una longitud mínima de tres veces la distancia medida entre los bastiones y aguas abajo una longitud mínima de una vez y media la distancia medida entre los bastiones, para permitir el escurrimiento libre del agua.
2. Todo el material removido se debe colocar en un sitio que no constituya un peligro para el cauce limpiado ni donde ocasione problemas socio-ambientales.
3. Se debe limpiar el área de trabajo y trasladar la basura removida a depósitos de excedentes autorizados.

D11-MP-P1 Procedimiento para prevenir la socavación, mediante enrocados (escolleras) en el cuerpo principal de los bastiones

- Objetivo:** colocar escolleras para proteger el cuerpo principal del bastión y los taludes contra la socavación.
- Criterio:** este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de socavación de 3 o menor, es decir, se observa socavación, pero no se extiende hasta la fundación.

Notas generales

1. Este procedimiento también se puede aplicar en caso de la pérdida del talud de protección frente al bastión, es decir, en cualquier grado del daño que el Manual de Inspección de Puentes nombra como “Colapso de la protección”.
2. No se debe llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
3. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Roca para escolleras: deben cumplir con las especificaciones de la Subsección 705.02, del CR-2010.
- Geotextil Tipo IV: debe cumplir con las especificaciones de la Subsección 714.01, del CR-2010.
- Mortero: en caso de tratarse de un enrocado con mortero, debe cumplir con las especificaciones de la Subsección 712.02 (e), del CR-2010.

Herramientas

- Motosierra
- Equipo mecanizado de excavación, mínimo: *back hoe* y vagoneta.
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 617: protección de riberas del MCV-2015
- Sección 251.) Escolleras (Riprap) del CR-2010
- Actividad 845.02 – Erosion Repair at Abutments del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

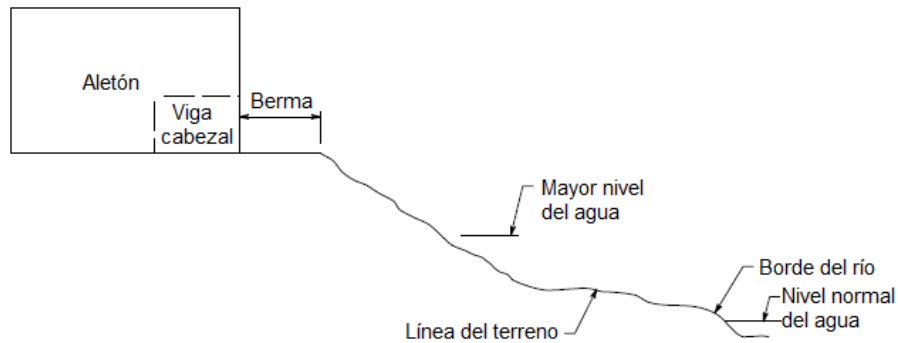


Figura 94. Condición previa al enrocado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Para colocar el geotextil no es necesario remover la capa superior del suelo o la materia vegetal. Sin embargo, si se deben remover todos los escombros, objetos puntiagudos, rocas grandes, árboles, troncos, entre otros, que puedan dañar o romper el geotextil. La superficie del terreno para colocar el geotextil debe ser lisa y uniforme, y se recomienda que la pendiente del talud donde se va a colocar el geotextil y posteriormente el enrocado, no sea mayor a una relación 1:2 (vertical:horizontal).
2. Colocar el geotextil de forma que, los extremos y los lados de los paños adyacentes, se traslapen como mínimo 30 cm, sino se deben coser las uniones del geotextil de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Se deben usar pines para mantener en sitio los paños de geotextil, el espaciamiento de dichos pines a lo largo de los traslapes debe ser de 1 m de centro a centro. Es importante mencionar de que en caso que se rompa el geotextil, se puede remover y reemplazar (con el mismo tipo de geotextil) la parte dañada, traslapando el nuevo geotextil al menos 1 metro más allá de la zona afectada.
3. También se debe mencionar que el geotextil se debe colocar en toda la altura del talud y sino como mínimo 60 cm por encima del mayor nivel del agua (nivel del agua durante las crecidas). Además, en el pie del talud se debe colocar un delantal de geotextil con una extensión mínima de 2,4 m y máxima de 7,6 m. El geotextil no se debe extender más allá del borde del río.

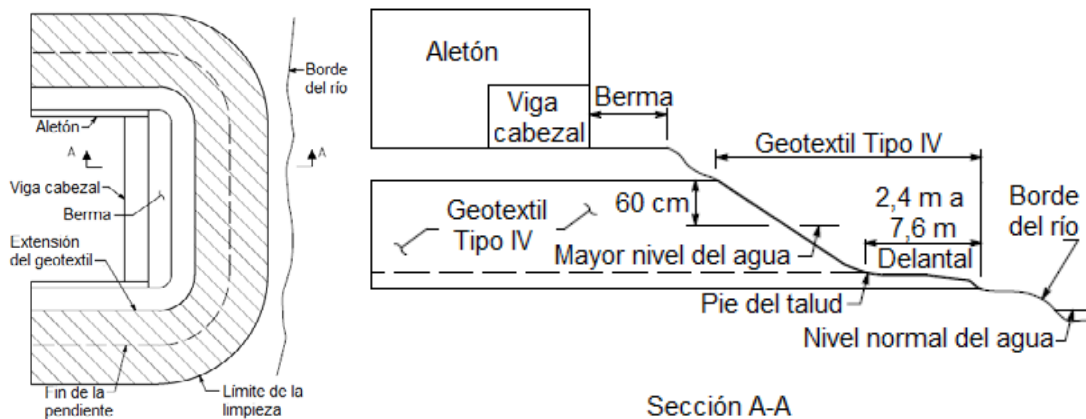


Figura 95. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Se deben colocar las rocas sobre toda la extensión del geotextil, evitando dañarlo. En el caso del talud las rocas se deben colocar desde abajo hacia arriba. El grosor del enrocado debe ser de por lo menos 30 cm.
2. Las rocas individuales se deben acomodar utilizando métodos manuales o mecánicos con el fin de obtener una cubierta densa y uniforme, con una superficie razonablemente lisa. El enrocado no se debe extender más allá del borde del río.
3. En caso de que el talud tenga una pendiente muy pronunciada, se puede realizar una excavación en el pie del talud con una profundidad de 60 cm (tal y como se observa en la siguiente figura), para facilitar el acomodo de las rocas
4. En caso de tratarse de un enrocado con mortero, las rocas se deben humeder con agua exhaustivamente, lavando el exceso de finos existentes de la parte inferior del enrocado. El mortero se debe colocar de forma que se evite su segregación y todos los vacíos se deben llenar sin mover o desplazar las rocas. No se debe colocar más de 1,5 m en cada capa de enrocado con mortero y se debe curar durante 3 días antes de continuar con la siguiente capa de enrocado con mortero. Es importante mencionar que se deben dejar "lloraderas" en el enrocado para permitir el drenaje del agua. Cuando se haya concluido de colocar el mortero, este se debe curar durante 3 días y se debe proteger de las temperaturas altas extremas durante por lo menos 7 días después de concluida la colocación.
5. Por último, se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

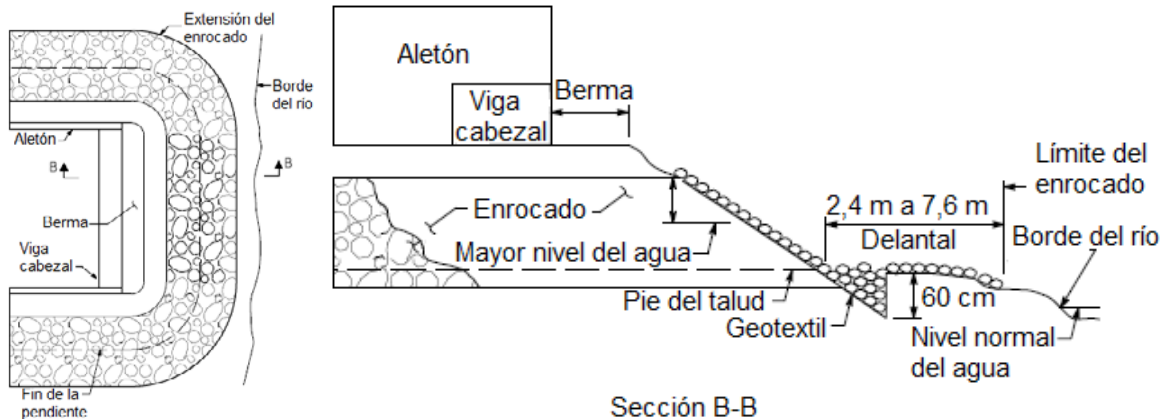


Figura 96. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

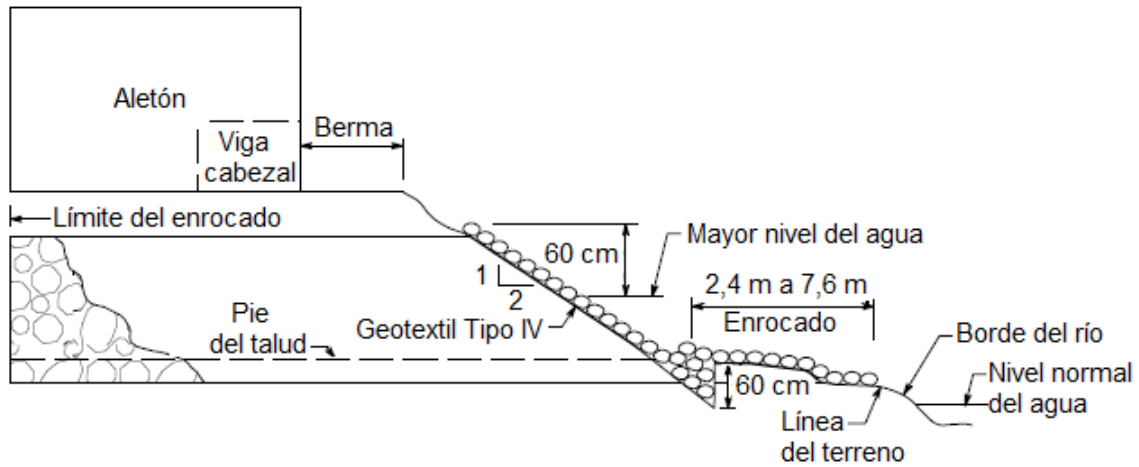


Figura 97. Enrocado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



Figura 98. Enrocado (escolleras).

Fuente: PEEP (2018).

D12 Reparación de elementos faltantes o ausencia de barandas

Definición: hace referencia a la pérdida parcial o total de elementos en barandas de acero o de concreto.

Posibles causas de la falta de elementos o ausencia de barandas

- Impacto de vehículos en la baranda.
- Robos.
- No se colocó.

Posibles consecuencias de la falta de elementos o ausencia de barandas

- Es un peligro para los usuarios del puente (peatones y vehículos), ya que, al no existir esta protección, pueden caer al vacío.

En la siguiente imagen, se puede observar el faltante de elementos en una baranda de concreto.



Figura 99. Faltante de baranda de concreto.

Fuente: MOPT (2007).



Figura 100. Faltante de baranda de concreto.

Fuente: PEEP (2018).

D12-MP-B1 Reparación de baranda de concreto

Objetivo: reconstruir la baranda para reestablecer su funcionalidad y asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de faltante o ausencia de barandas.

Notas generales

1. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
2. No se debe soldar el acero de refuerzo.
3. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310 : los materiales, el diseño de mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200 y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.
- Barandillas prefabricadas con las mismas dimensiones a las existentes (también se pueden colar en sitio).

Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Esmeril angular
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor

- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones:

- Sección 603: reparación parcial o reposición total de barandas de puentes del MCV-2015
- Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes del MCV-2015
- Actividad 815.01 – Brush Curb Post Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

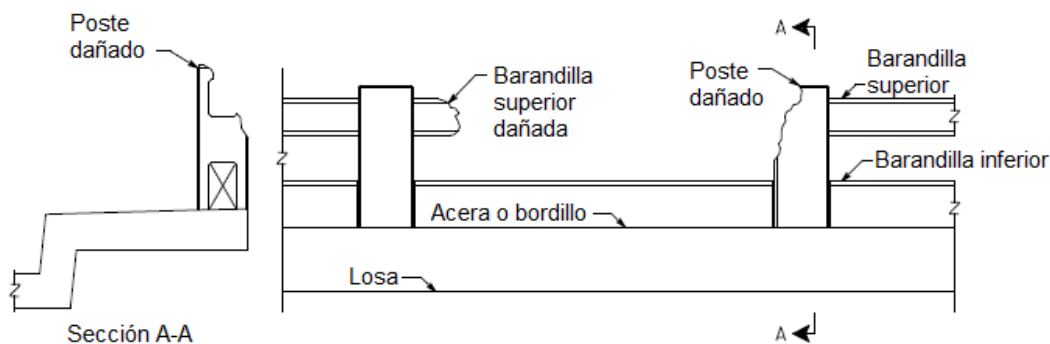


Figura 101. Daño.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza el área de la baranda que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco.
2. Colocar un soporte de madera para la barandilla superior (ver detalle en la siguiente figura).
3. Demoler, utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, todo el concreto del área demarcada. Se debe tener la precaución de no dañar el acero de refuerzo.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. Se deben eliminar las varillas que se encuentren dañadas o que presenten una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (debido a la corrosión). Se deben fijar, con alambre negro, nuevas varillas de acero alineadas con las existentes, asegurándose de dejar una adecuada longitud de traslape (). Esta longitud de traslape se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las

varillas deben ser del mismo diámetro y tanto las nuevas como las existentes se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

Se pretende que este paso se haga únicamente para el poste de la baranda, sin embargo, también es posible colocar el acero de la barandilla para colocarla en sitio.

- Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

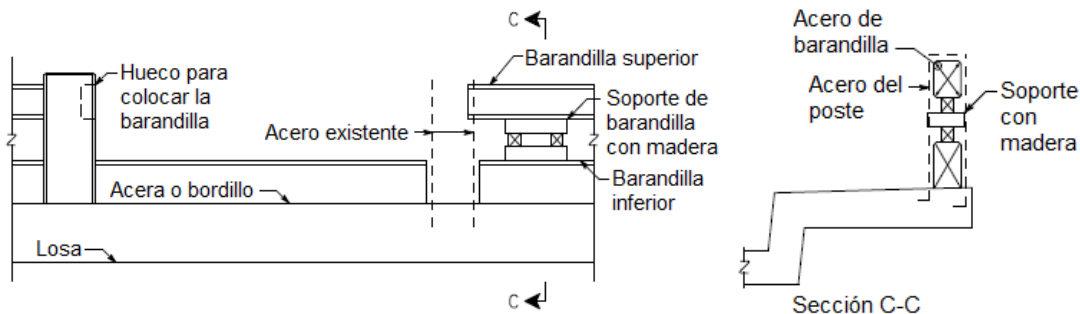


Figura 102. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

- Colocar soportes de madera para instalar la nueva barandilla superior prefabricada.
- Colocar la nueva barandilla y anclar el acero al poste. La longitud de anclaje (ℓ) se debe calcular de acuerdo con el Anexo 2 de este Manual. Esta barandilla también se puede colar en sitio, simplemente se debe colocar el acero alineado con el existente, respetando las longitudes de anclaje y el mismo diámetro de varilla.
- Colocar la formaleta, asegurándose de que la posición final del poste sea vertical y que tenga la misma geometría que los existentes.
- Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto existente (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

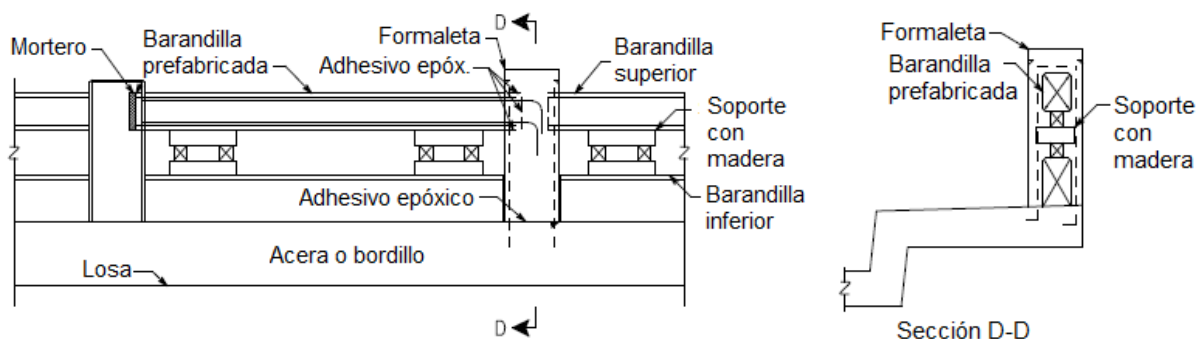


Figura 103. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

1. Chorrear el concreto de relleno justo después de colocar la resina epóxica (siguiendo las instrucciones del fabricante). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Posteriormente, se debe compactar mediante vibradores de inmersión.
2. Nivelar la superficie superior del poste de la baranda con una llaneta.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formata.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

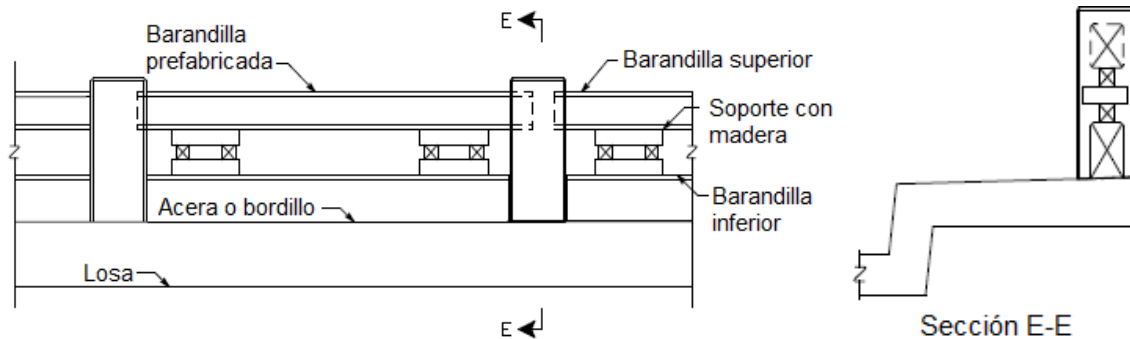


Figura 104. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

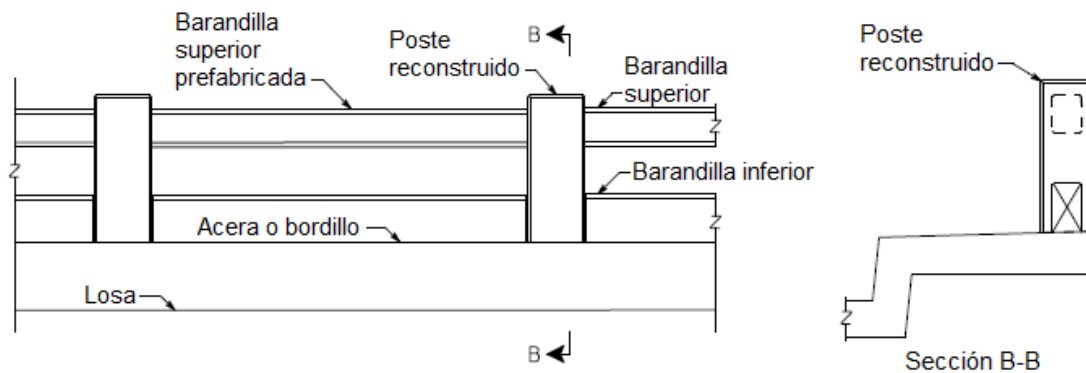


Figura 105. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas

Objetivo: proveer al puente de barandas para brindar seguridad a los usuarios de la estructura.

Criterio: este procedimiento es aplicable en caso de ausencia de barandas en el puente. Se deben revisar las especificaciones del “Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial”.

Especificaciones: manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial y su anexo “Manual SCV. Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras”.

Notas generales

Mediante el Decreto Ejecutivo: 37347, el cual entra en vigor el 10 de octubre del 2012, se oficializa el uso del Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial, que se encuentra disponible en la página del COSEVI (www.csv.go.cr). Según la (Presidencia de la República y el MOPT, 2012), este manual está dirigido a todos aquellos profesionales responsables de la planificación, diseño, construcción, gestión y administración de las vías, tanto urbanas como rurales y pretende ser una guía que ayude abordar los problemas de seguridad vial.

Este manual incluye el análisis y diseño de las márgenes de las carreteras. Por lo tanto, contiene información acerca de la manera correcta para la selección y disposición de las barandas (barreras de seguridad). Según el Decreto 37347, se deben acatar los lineamientos de este manual para la selección y disposición de las barandas.

Según Valverde (2013), se debe mencionar que en el caso de barandas que serán instaladas en puentes, siempre debe instalarse una baranda tipo “pretil de puente”, diseñada y ensayada especialmente para este tipo de aplicación.

A continuación, se muestra un resumen del procedimiento general para el diseño de una baranda para un puente (pretil de puente).

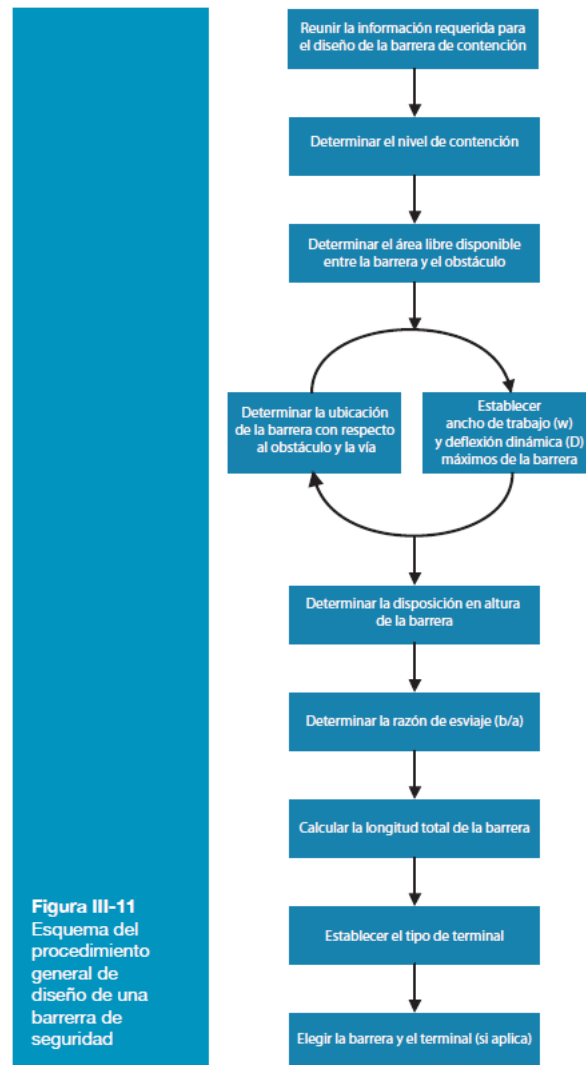


Figura 106. Procedimiento general de diseño de una barrera de seguridad.

Fuente: Valverde (2013).

Según Valverde (2013), la información requerida para poder llevar a cabo el diseño es:

- Registro y análisis de la concentración de accidentes de tránsito.
- TPD y volumen de ciclistas y peatones.
- Velocidad de diseño de la vía.
- Características geométricas de la vía.
- Información topográfica de los márgenes de la carretera: longitudes transversales y pendientes del terreno.
- Características de los peligros y su ubicación detallada.
- Ubicación y descripción de los lugares y elementos que pueden representar una dificultad para ejecutar un posible tratamiento, como elementos del sistema de drenaje, servicios públicos, entre otros.

- Condición de la estructura de pavimento.
- Ubicación de los sitios donde la visibilidad y la distancia de visibilidad de parada son restringidas.

Como se puede observar en la Figura 106, luego de reunir esta información, se debe seleccionar el nivel de contención. Caídas desde la plataforma de un puente se clasifica como un accidente muy grave, por lo tanto, únicamente se muestran los niveles de contención para este tipo de accidente. Además, tal como se puede ver en el siguiente cuadro, la selección del nivel de contención para pretil de puente también depende de la velocidad de diseño y del TPD.

Cuadro 4. Nivel de contención.

Accidente	Velocidad	TPD	TPD _p	Nivel de contención
Muy grave	>60	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Muy grave	>60	>2000	500 < TPD _p < 2000	H3
Muy grave	>60	>2000	<500	H2
Muy grave	>60	<2000	-	H1, TL3, TL4

Fuente: Valverde (2013).

El tipo de terminal que se recomienda para una barrera de seguridad es empotrada en un talud. Siempre que las condiciones del sitio lo permitan, debe utilizarse este tipo de terminal para los extremos de las barreras de seguridad.

La barrera de seguridad se debe colocar lateralmente con una separación mínima de 0,50 m del borde de la calzada y las separaciones máximas recomendadas se pueden encontrar en el siguiente cuadro.

Cuadro 5 Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad.

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia máxima (m)		
	Número de carriles por sentido		
	1	2	3
50	2,5	0,5	0,5
60	2,5	0,5	0,5
70	6,0	2,5	0,5
80	6,0	2,5	0,5
90	11,0	7,5	4,0
100	11,0	7,5	4,0
110	16,5	13,0	10,0

Fuente: Valverde (2013).

Añadido a esto, también se debe considerar la disposición en altura (depende del fabricante), y la longitud de la barrera (depende de la longitud del puente).

D14 Reparación de la deformación en baranda y viga principal de acero

Definición: es el cambio con respecto al tamaño, forma o posición original, ya sea de la baranda acero o de la viga principal de acero.

Posibles causas de la deformación en barandas y viga principal de acero

Barandas

- Impacto de vehículos.
- Falla de la conexión entre la baranda y el sistema de piso.
- Dilatación térmica.

Viga principal de acero

- Asentamiento de la subestructura.
- Sobrecarga.
- Colisión de vehículos.
- Impacto de troncos y rocas en crecidas del río.
- Insuficiente arriostramiento.

Posibles consecuencias de la deformación en barandas y viga principal de acero

Barandas

- Es importante que no exista deformación porque disminuye la resistencia del elemento para soportar el impacto de los vehículos.

Viga principal de acero

- Puede afectar la resistencia del elemento.

En el caso de las vigas principales de acero, la reparación de este daño requiere un análisis estructural para conocer la afectación de dicha deformación en el funcionamiento de la estructura. Además, su reparación implica complejos procedimientos de rehabilitación que no se incluyen en el alcance de este manual.

En el caso de las barandas de acero, también se requiere un análisis estructural para determinar si la baranda aún conserva la capacidad de absorber la energía de un impacto. Si a partir de este análisis o a partir del criterio del ingeniero inspector se determina que se requiere una sustitución de la baranda, esto se debe hacer de acuerdo con las especificaciones del “Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial”. Un resumen del procedimiento se encuentra en D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas, sin embargo, esto no exime la necesidad de revisar las especificaciones del manual mencionado.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la deformación en barandas y en la viga principal de acero.



Figura 107. Deformación en barandas y viga principal de acero.
Fuente: PEEP (2018).

D15 Reparación del agrietamiento en las barandas de concreto

Definición: se refiere a las grietas que se generan en las barandas de concreto.

Posibles causas del agrietamiento de las barandas de concreto

- Impacto de vehículos.
- Sismos.
- Contracción y expansión, debido a cambios de temperatura y humedad.

Posibles consecuencias agrietamiento de las barandas de concreto

- Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad del elemento. Es importante que la resistencia de las barandas esté intacta, ya que debe soportar el golpe de vehículos y evitar que estos caigan al vacío.
- Afectan la vida útil del elemento.

Para la reparación de este daño, se recomienda utilizar el procedimiento D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el agrietamiento de las barandas de concreto.



Figura 108. Agrietamiento en barandas de concreto.
Fuente: PEEP (2018).

D16 Reparación del descascaramiento de la pintura

Definición: la pintura es uno de los principales medios para proteger los elementos de acero contra la oxidación y corrosión. Este daño se da cuando la pintura se desprende del elemento de acero.

Posibles causas

- Mala calidad de la pintura.
- Pintado inadecuado del elemento.
- Es común verlo cerca de las juntas por la filtración de agua.
- Si no se remueve la oxidación antes de pintar ocurre el descascaramiento de la misma.
- Impactos en crecidas del río, por vehículos, vandalismo, durante el proceso constructivo, entre otros.

Posibles consecuencias

- Los elementos de acero pierden su protección superficial por lo que con el tiempo puede empezar el proceso de oxidación y posteriormente el de corrosión.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el descascaramiento de la pintura en elementos de acero.



Figura 109. Descascaramiento de la pintura en elementos de acero.

Fuente: PEEP (2018).

D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero y recuperar un estado óptimo de la pintura para prevenir la corrosión y extender el periodo de vida útil del acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, también es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado descascaramiento de la pintura de 3 o menor, lo que significa que todavía el descascaramiento no es considerable (la mayor parte de la pintura se encuentra en buen estado).

Este procedimiento también es aplicable en caso de oxidación o corrosión (grado 4 o menor) siempre y cuando la mayor parte de la pintura se encuentre en buen estado y que no se haya perdido más de un 20 % de la sección transversal del elemento debido a la corrosión.

En caso que la estructura de acero no se haya pintado anteriormente o que la mayor parte de la pintura se encuentre en mal estado (grado 4 o mayor de descascaramiento) se recomienda aplicar el procedimiento D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.

Notas generales

1. Previo a aplicar este procedimiento, se requieren 14 días para verificar la compatibilidad entre la pintura nueva con la existente.
2. Según el CR-2010, para pintar los elementos de acero, se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA.
3. Antes de empezar, se debe comprobar que la superficie de acero se encuentra en un rango de temperatura entre 10 y 40 °C. Añadido a esto, se debe comprobar que la humedad es del 85 % o menor, exceptuando que el fabricante del producto lo especifique de otra manera.

4. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
6. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.
7. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Solventes para limpieza: deben ser los especificados por la norma SSPC-SP 1.
- Pintura anticorrosiva: según el sistema de pintura seleccionado, se deben seguir las normas respectivas de la Subsección 708.05 Pintura para estructuras de acero, del CR-2010.

Los sistemas de pintura dependen del tipo de ambiente al que estarán expuestos los elementos de acero. En el siguiente cuadro, se pueden observar los sistemas de pintura estipulados por el CR-2010.

Cuadro 6. Sistemas de recubrimiento para hierro y acero estructural en superficies con pintura existente en buen estado.

Capa	Sistema de pintura ⁽¹⁾		
	6	7	8
	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)
Base	Uretano curado-húmedo 50-75 μm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 μm seco	Sellador epóxico de baja viscosidad 25-50 μm seco
Intermedia	Uretano curado-húmedo 50-75 μm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 μm seco	Epóxico 75-100 μm seco
Superior	Uretano curado-húmedo ó uretano alifático 50-75 μm seco	Silicón-alcálico VOC bajo 50-75 μm seco	Uretano alifático 50-75 μm seco
Espesor total	150-225 μm seco	150-225 μm seco	50-225 μm seco

(1) El sistema 6 es para protección del hierro y acero en ambientes corrosivos agresivos como los siguientes: marino, industrial, de alta humedad y estructuras expuestas a sales. Los sistemas 7 y 8 son para el uso en aquellos entornos libres de altas concentraciones de sales o de contaminantes que originan los ambientes de corrosión agresivos.

Fuente: MOPT (2010).

Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión
- Cepillos, lijas o lijadora electromecánica o equipo de chorro de arena (*sandblaster*), de acuerdo con el método de limpieza seleccionado

- Lijadora electromecánica
- Generador portátil
- Brochas (redondeadas o planas con un ancho menor a 12 cm), rodillos (solo se pueden utilizar en superficies planas) o rociadores de pintura sin aire o convencionales con filtros para excluir el aceite o agua del aire comprimido (el aire comprimido debe cumplir la norma ASTM D 4285).
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 563.) Pintura, del CR-2010.

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Se debe verificar la compatibilidad de la nueva pintura con la existente, 14 días antes de aplicar este procedimiento. Para esto, se debe seleccionar un área de prueba representativa de la condición del elemento, de por lo menos 3 . Luego se debe preparar la superficie (ver paso 2) para aplicar el sistema de pintura propuesto a la capa superior y a la base existente, para observar si en los siguientes 14 días surgen levantamientos, sangrado, ampollas, arrugas, agrietamiento u alguna otra forma de incompatibilidad. Añadido a esto, se deben ejecutar pruebas de adherencia de acuerdo con lo estipulado en la norma ASTM D 3359, método A. En caso de que las pruebas de adherencia no den resultados satisfactorios o que surjan evidencias de incompatibilidad se debe seleccionar otro tipo de pintura.

Paso 2

1. Inicialmente, se deben lavar todas las superficies de acero a ser intervenidas con agua a presión, eliminando todo el óxido suelto, escamas, suciedad, insectos, vegetación, escombros, pintura que no esté bien adherida, aceites o alguna otra sustancia líquida. La presión del agua se debe mantener en 3,5 MPa.
2. Posteriormente, se debe limpiar todo el óxido, suciedad, escamas u otros restantes, inclusive de áreas pequeñas, de acuerdo con la norma SSPC-SP 2 (Limpieza con herramientas manuales), SSPC-SP 3 (Limpieza con herramientas mecánicas) o SSPC-SP 6 (Limpieza con chorro de arena comercial para remover la suciedad, herrumbre suelto o pintura que no está firmemente adherida a la superficie subyacente). Además, se deben pulir los bordes de la pintura existente con el fin de obtener una superficie lo suficientemente lisa para aplicar la pintura.
3. Se debe remover toda la suciedad, polvo y otros desechos, producto de la limpieza seleccionada, utilizando solventes de acuerdo con la norma SSPC-SP 1.
4. Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con solventes.
5. Aplicar la primera capa de pintura con brocha, rodillo o rociador, a las superficies que no cuentan con pintura existente siguiendo las especificaciones del fabricante. Luego, se deben aplicar las capas restantes de pintura uniformemente a toda la superficie de acero (siguiendo las especificaciones de fabricante). Es importante mencionar que se debe medir y ajustar el espesor de cada capa húmeda durante la aplicación, para que después de curar cada capa, se logre obtener el espesor de pintura deseado. En caso de que, alguna capa después de curada no alcance el espesor deseado, se debe volver a pintar hasta alcanzar dicho espesor. Se debe considerar que las capas sucesivas de pintura deben ser de diferente color para evitar dejar áreas sin pintar.

6. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



Figura 110. Daño antes y después de la reparación de la pintura.
Fuente: Federal Highway Administration (2018).



Figura 111. Recuperación de la pintura en elementos de acero.
Fuente: PEEP (2018).

D00 Reparación de apoyos

La función de los apoyos es transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura y, en caso de sismo, permitir los grados de libertad necesarios para el adecuado funcionamiento del puente.

De acuerdo con las inspecciones visuales de campo llevadas a cabo por el Programa de Evaluación de Estructuras Puentes del TEC, los apoyos son los elementos mejor evaluados de la subestructura, sin embargo, gracias a los comentarios hechos por los ingenieros inspectores en dichos informes, se sabe que la realidad actual es totalmente distinta. Esta situación se da porque el Manual de Inspección de Puentes del MOPT no permite una evaluación adecuada de los apoyos y por esta razón, no se encontraron entre los daños más comunes. Los daños que se encuentran frecuentemente son oxidación, corrosión, sedimentos cubriendo los apoyos y el agrietamiento o aplastamiento de los apoyos de neopreno. Sin embargo, los daños que se evalúan son: desplazamiento, inclinación, deformación y rotura de pernos de los apoyos. Por este motivo, es importante que se actualice la forma de evaluar los apoyos en el Manual de Inspección de Puentes y añadido a esto, se debe actualizar el SAEP para que se puedan registrar los daños mencionados anteriormente.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, se decide incluir en este manual el procedimiento para la “Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos”.

A continuación, se mencionan algunas posibles causas y consecuencias de los daños en los apoyos.

Posibles causas de daños en los apoyos

- Mantenimiento inexistente.
- Deterioro o mala calidad de los materiales.
- Filtración de agua a través de las juntas.
- Oxidación o corrosión.
- Presencia de suciedad, escombros, insectos, vegetación, entre otros.
- Sismos.

Posibles consecuencias de daños en los apoyos

- El fallo de los apoyos puede provocar que el puente colapse parcial o totalmente.
- Se dificulta el funcionamiento adecuado de los apoyos.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar apoyos deteriorados que requieren ser reemplazados.



Figura 112. Apoyos deteriorados.
Fuente: PEEP (2018).

D00-MP-A1 Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos

Objetivo: sustituir los dispositivos de apoyo para preservar el comportamiento estructural de los elementos y prevenir daños mayores.

Criterio: este procedimiento se debe programar periódicamente, después de que se haya detectado, durante una inspección visual de campo, el deterioro completo de algún apoyo o que no permite los movimientos para los cuales fue concebido (rotación, traslación o ambas). También, en caso de que mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, se califiquen con un grado 5, los daños “deformación del apoyo” o “inclinación del apoyo”.

Notas generales

1. Es responsabilidad del ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área de los apoyos. Se debe proveer una plataforma segura y cómoda para llevar a cabo los trabajos de sustitución.

ción de los dispositivos de apoyo. En caso de necesitar anclar elementos a la estructura, a la hora de terminar el trabajo, estos deben ser retirados y los respectivos daños deben ser reparados.

2. Según la Sección 564 Accesorios de Apoyo del CR-2010 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
3. No se debe llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Especificaciones de los materiales

- Dispositivos de apoyo: se deben adquirir e instalar los nuevos dispositivos de apoyo de acuerdo con la Sección 564 Accesorios de apoyo del CR-2010.
- Mortero de alta resistencia inicial: en caso de que sea necesario para reparar o nivelar alguna parte de la base de los apoyos. Debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.

Herramientas

- Compresor de aire
- Esmeril angular
- Generador portátil
- Equipo para chorro de arena, chorro de agua o pulidora (lijadora)
- Gatos hidráulicos (deben contar con una capacidad mínima de un 50 % mayor de la carga que van a levantar)
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillo de cerdas de acero, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 610: mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.23 – Bearing Failure Repair Under RCDG) del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

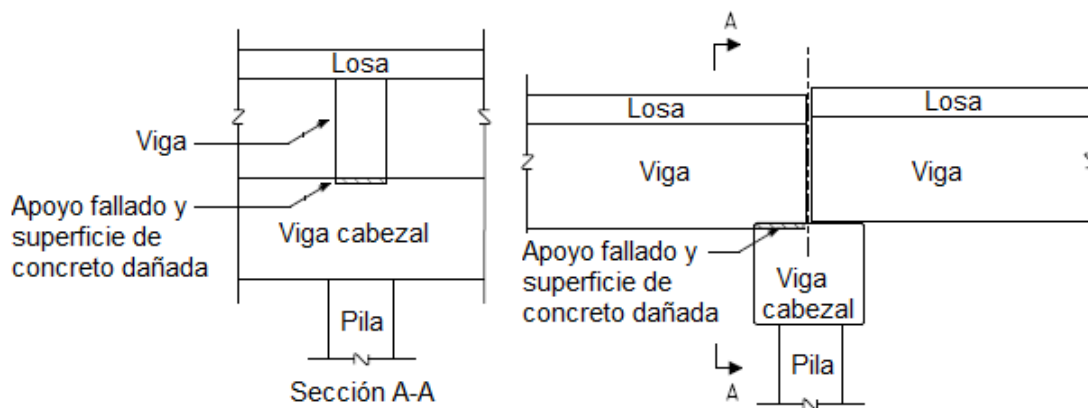


Figura 113. Apoyo fallado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Descripción del procedimiento

Paso 1

1. Inicialmente, se debe limpiar la zona de los apoyos y eliminar toda la suciedad y escombros presentes en el área a intervenir. Esto se puede hacer mediante el uso de herramientas manuales, aire comprimido o chorro de agua a alta presión.
2. Se debe instalar un gato hidráulico en los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo), lo más cerca posible del dispositivo de apoyo. Si no exista una base para apoyar el gato hidráulico, se debe proveer una que tenga la suficiente resistencia para transmitir la carga de las vigas y la losa.
3. Cerrar totalmente el paso del tráfico y proceder con las maniobras de levantamiento del tablero del puente. Los gatos hidráulicos deben levantar de forma uniforme, simultánea, lenta y gradual los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo). Se debe levantar hasta conseguir liberar de toda carga a los dispositivos de apoyo y proveer una holgura de por lo menos 5 mm. Es decir, las vigas se deben levantar como mínimo 5 mm sobre los apoyos. Es importante mencionar, que en el momento que se liberen los apoyos de las cargas, se deben colocar apoyos temporales como tacos de madera, apoyos de neopreno temporales o platinas de acero.
4. Realizar el retiro de los dispositivos de apoyo deteriorados, mediante el uso del esmeril angular y las herramientas manuales. En caso de que dichos apoyos se encuentren fijados a las bases, en la instalación de los nuevos dispositivos se debe proveer otro mecanismo de fijación como el uso de adhesivos epóxicos.
5. Remover todo el concreto suelto, suciedad y escombros del área de apoyo.
6. Enrasar y pulir a los niveles necesarios las bases donde se colocarán los nuevos dispositivos de apoyo. Se debe garantizar su perfecta horizontalidad mediante el uso de un nivel para asegurar un asiento uniforme de los nuevos dispositivos y por ende, del tablero.

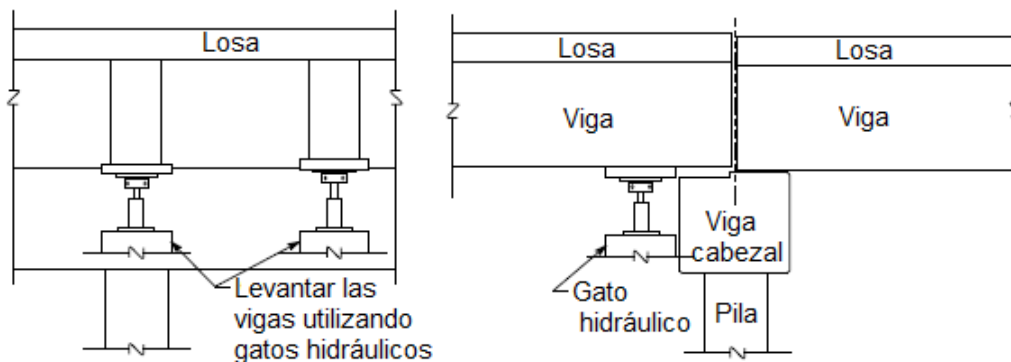


Figura 114. Paso 1.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 2

1. Colocar los nuevos dispositivos de apoyo. En caso de que los apoyos anteriores hayan estado fijados a las bases, en la instalación de los nuevos dispositivos se debe proveer otro mecanismo de fijación como el uso de adhesivos epóxicos. Además, los nuevos dispositivos se deben instalar a una distancia

mínima de 5 cm de los bordes del área de apoyo y deben separar al menos 0,6 cm (6 mm) las vigas de la viga cabezal (ver detalle en la siguiente figura).

- En la siguiente figura se observa el caso de un apoyo de neopreno. El grosor del neopreno debe ser al menos de 1,3 cm (1/2") y añadido a esto se deben colocar los platos de apoyo.

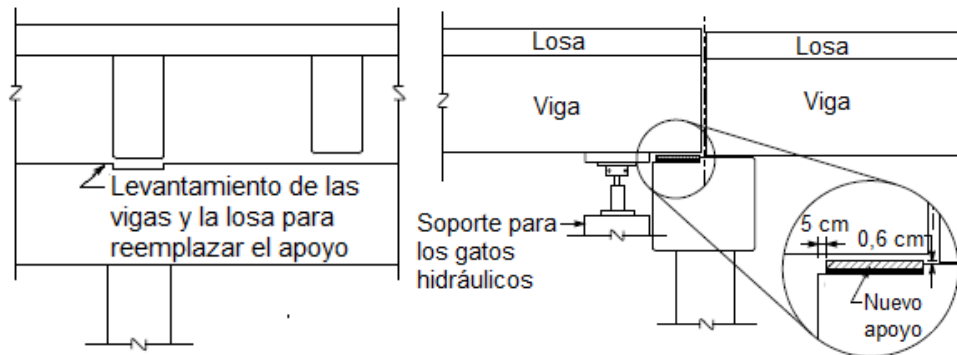


Figura 115. Paso 2.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

Paso 3

- Quitar los apoyos temporales y mediante el uso de los gatos hidráulicos, bajar de forma uniforme, simultánea, lenta y gradual los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo) para que se sienten en los nuevos dispositivos de apoyo.
- Una vez se hayan sentado, se debe verificar que las losas adyacentes, ya sea, losa-losa o losa-losa de aproximación queden a la misma altura. En caso de que la diferencia entre las elevaciones sea mayor a 0,3 mm (1/8") se debe volver a levantar las vigas mediante el uso de los gatos hidráulicos (Paso 1) y corregir el error.
- Por último, se deben quitar los gatos hidráulicos, limpiar el área de trabajo, trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados y reabrir el tránsito vehicular.

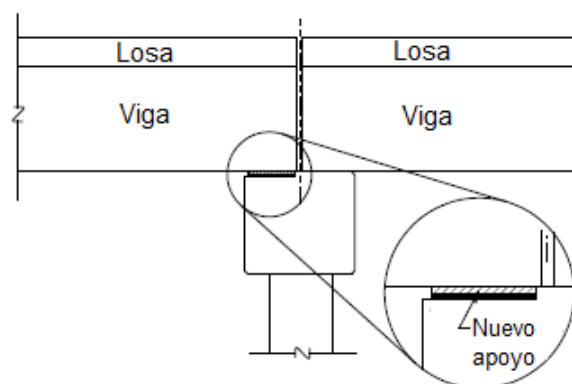


Figura 116. Paso 3.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

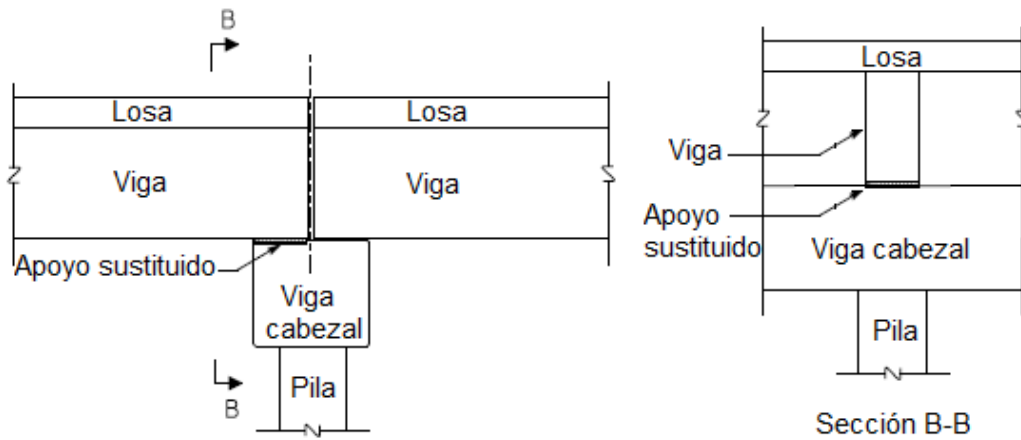


Figura 117. Daño reparado.

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



Figura 118. Apoyo reemplazado o sustituido.

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).



Figura 119. Apoyo reemplazado o sustituido.

Fuente: JICA (2014).

Bibliografía

- ACI 224R-01. (2001). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*.
- ACI E706. (2010). *Instalación de ánodos galvánicos embebidos (ACI RAP Boletín 8S)*.
- Do Lago Helene, P. (1997). *Manual para la Reparación, Refuerzo y Protección de las estructuras de concreto*. Ciudad de México: © 2015, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Obtenido de http://www.imcyc.com/redcyc/imcyc/biblioteca_digital/MANUAL_DE_REPARACION_REFUERZO_Y_PROTECCION_DE_LAS_ESTRUCTURAS_DE_CONCRETO.pdf
- Emmons, P. H. (1994). *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*. Massachusetts: R.S. Means Company, Inc. Obtenido de <http://civil.emu.edu.tr/courses/civl586/Concrete%20Repair%20and%20Maintenance%20Illustrated,%20PH%20Emmons.pdf>
- Federal Highway Administration. (Agosto de 2011). *Maintaining a State of Good Repair Using Cost Effective Investment Strategies*. Obtenido de <https://transportation.ky.gov/Maintenance/Documents/AAS-HTO%20Presentations/Bridges%20Technical%20Working%20Group/Bridge%20Preservation%20Guide-5-12-2011.pdf>
- Federal Highway Administration. (2018). *Maintaining a Resilient Infraestructure to Preserve Mobility*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf>
- Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(4), pág. 63-72. Obtenido de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3965/3548
- Georgia Department of Transportation. (29 de Junio de 2012). *Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation, Repair Manual*.
- JICA. (2014). *Improvement of Quality Management for Highway and Bridge Construction and Maintenance, Phase II. Bridge Repair Manual (2da Edition)*.
- MOPT. (2007). *Lineamiento para Mantenimiento de Puentes*.
- MOPT. (Enero de 2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Obtenido de https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES
- MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/28a-27ca9-2ec2-49ae-838c-6f89e21d43b4/CR-2010.pdf?MOD=AJPERES>
- MOPT. (2015). *MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES (MCV-2015)*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/847/Manual%20MCV-2015%20Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz, J., Agüero, P., Vargas, S., Villalobos, E., Vargas, L., Barrantes, R., & Loria, G. (Octubre de 2015). *Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual*. Obtenido de [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%20)

C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20condici%C3%B3n%20en%20puentes%20mediante%20inspecci%C3%B3n%20visual.pdf?sequence=1&isAllowed=y

New York State Department of Transportation. (2008). *Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection*.

Presidencia de la República y el MOPT. (10 de Octubre de 2012). *Decreto Ejecutivo : 37347*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=N-RTC&nValor1=1&nValor2=73393&nValor3=90068&strTipM=TC

Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP). (2014-2018). Informes de inspección visual y de inventario. Cartago

Valverde, G. (Octubre de 2013). *Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial. Segunda Edición*. Obtenido de <https://www.csv.go.cr/documents/10179/20401/SEGURIDADVIAL+Manual+050314.pdf/4d181337-7fce-43bf-b412-8e8ee92eb2ae>

Apéndices

Apéndice 1. Código de los procedimientos.

El código de los procedimientos hace referencia primeramente a la repetitividad del daño que intervienen, es decir, asocian los procedimientos al daño respectivo. Luego, se puede encontrar “MP” o “MR” que indica si se trata de un procedimiento de mantenimiento rutinario o mantenimiento periódico y por último, se indica para qué tipos de elementos es aplicable el procedimiento. En el siguiente cuadro se puede observar el símbolo que corresponde a cada elemento.

Cuadro 1. Procedimientos aplicables para diferentes elementos de acuerdo con su símbolo.

Símbolo	Procedimiento aplicable para:
L	Losas
V	Vigas
B	Barandas
P	Pilas y bastiones
A	Apoyos
J	Juntas
T	Todos los elementos del material respectivo

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo del significado de un código de un procedimiento.

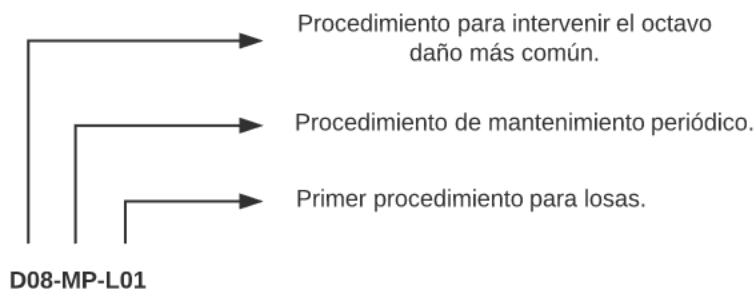


Figura 1. Código de los procedimientos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Cálculo de la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal (Según la Sección 8.5 del CSCR-10)

Según el CSCR-10, la longitud de anclaje (l_{ag}) para varillas #3 a #11, con un gancho estándar, no puede ser menor que 8 veces el diámetro de la varilla, 15 cm o la longitud indicada en la siguiente ecuación:

$$\text{Donde: } l_{ag} = \frac{f_y * d_b}{16\sqrt{f'_c}} \text{ [cm]}$$

d_b = diámetro de la varilla en cm.

f_y y f'_c en kg/cm^2 .

La **longitud de anclaje recto** (l_{ar}) para varillas #3 a #11, no debe ser menor que $2,5 l_{ag}$.

Ejemplo: calcular la longitud de traslape en una losa, suponiendo que se tiene una varilla #5.

En el caso de losas, el MCV-15 permite utilizar un concreto con una resistencia mínima de $255 kg/cm^2$ (para el resto de los elementos de un puente la resistencia mínima es de $310 kg/cm^2$). Para puentes el f_y del acero debe ser $4200 kg/cm^2$. Entonces:

Se calcula el l_{ag} :

- 15 cm
- $8 * (\frac{5}{8} * 2,54 \text{ cm}) = 12,7 \text{ cm}$
- $l_{ag} = \frac{4200 \text{ kg/cm}^2 * 1,5875 \text{ cm}}{16\sqrt{255 \text{ kg/cm}^2}} = 26,1 \text{ cm}$ (se toma el mayor valor)

Por último, se procede a calcular la longitud de anclaje recto:

$$l_{ar} = 2,5 (26,1 \text{ cm}) = 65,25 \text{ cm}$$

De esta forma, se obtiene que **el traslape de la varilla #5 debe ser de 65 cm**

Referencia

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: editorial Tecnológica de Costa Rica.

