



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

Propuesta de estandarización de procesos constructivos para el mantenimiento de cantoneras en puentes.

**Por
Pablo Andrés Villegas Aravena**

Tesis para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Construcción y al Título de
Ingeniero Constructor

Profesor guía: Fernando Salas Riquelme

Mayo, 2023

Agradecimientos

A mi madre, Andrea Aravena, por siempre mostrarme tu infinito e incondicional amor de madre, acompañarme en cada etapa de este proceso y de mi vida, porque nunca sentí tu ausencia; aunque las cosas en ocasiones se tornaran difíciles, nunca dejaste de creer en mí, me levantaste dándome fuerzas y valentía cada vez que lo necesité para no permitir que me quedara en el estanco y me impulsaste a nunca dejar de caminar hacia mis sueños.

A mi padre, Enrique Villegas, a quien además de agradecer por todos sus valiosos consejos y enseñanzas, gracias a ti es que ahora estoy finalmente terminando este proceso de titulación que tenía pausado e iba posponiendo año a año. Gracias por enseñarme a ver la vida con mayor simpleza, por toda esa fuerza y energía de empuje que transmites, por impulsarme a soñar y mostrarnos con mi hermana, que podemos alcanzar todo aquello que anhelamos.

A mi tío, Gustavo Aravena, quién ha sido como un segundo padre y referente a lo largo de mi vida. Gracias tío por siempre quererme tanto y considerarme tanto dentro de tu vida. Contigo pude conseguir claridad y seguridad para emprender este camino (entre muchos otros), el cual, ahora ha culminado sintiendo satisfacción en la decisión que me ayudaste a tomar y de todo lo que se ha logrado en este proceso en el cual me has acompañado y apoyado en todo sentido.

A mi abuela, Norma Navarro, por ser una segunda madre a lo largo de mi vida, por todas sus oraciones encomendadas, por endulzar las tensiones y/o amargas eventuales con las exquisiteces que solo usted prepara, pero principalmente por su incondicional amor, apoyo, atención, y valiosos consejos.

A mi hermana, Sofía Villegas, quien es un pilar fundamental en mi vida y que, a su temprana edad, su sabiduría me ha aportado mucho en la toma de decisiones construyendo este camino. No es menor, haber disfrutado tu compañía en las largas noches en las que me acompañaste aprovechando de avanzar en tus estudios mientras yo trabajaba.

A mi profesor guía, don Fernando Salas, por todo el apoyo entregado, atención y mucha paciencia a lo largo de este trabajo, a quien, además de agradecer su experiencia y sólidos conocimientos siendo un mentor guiando el desarrollo de este trabajo de inicio a fin, le estoy muy agradecido de su tremenda disposición y voluntad generando siempre las condiciones para tener un espacio de su tiempo y atender a mis inquietudes cada vez que se lo necesité.

También, agradecer a los docentes que nos acompañaron desde las bases necesarias para introducir y encaminar este proceso, orientando y aportando su valiosa experiencia.

Índice de contenido

Índice de figuras	6
Índice de tablas	10
Índice de gráficos.....	11
Glosario	12
Resumen	13
Abstract.....	14
Capítulo 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	15
1.1. Introducción.	15
1.2. Estado del arte.	16
1.3. Objetivos.	21
1.3.1. Objetivo general.	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Hipótesis.	21
1.5. Alcances y limitaciones.	22
1.6. Metodología.	23
Capítulo 2: MANTENIMIENTO PARA LA CONSERVACIÓN DE PUENTES EN CHILE.	26
2.1. Modalidades de conservación para obras de ingeniería vial.....	26
2.1.1. Clasificación en función de la periodicidad.	27
2.1.2. Clasificación según el tipo de intervención.....	28
2.2. Mantenimiento en puentes.	29
2.2.1. Clasificación de mantenimiento en puentes.	30
2.3. Operaciones de mantenimiento aplicado en cantoneras.	34
2.3.1. Reemplazo de cantoneras.	34
Capítulo 3: CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CANTONERAS DE PUENTES QUE SE USAN EN CHILE.....	38

3.1.	Cantoneras de juntas abiertas:.....	45
3.1.1.	Cantonera de guarda canto:	46
3.1.2.	Cantonera de placa deslizante:	47
3.1.3.	Cantonera de placas dentadas:	48
3.2.	Cantoneras de juntas cerradas:.....	50
3.2.1.	Cantoneras con sellos a compresión de sección abierta:	50
3.2.2.	Cantoneras con sellos en compresión de sección cerrada:	52
3.2.3.	Cantoneras de EPDM inflable (Jeene):	53
3.2.4.	Cantonera elastomérica reforzada:	55
Capítulo 4: IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS MÁS FRECUENTES QUE PRESENTAN LAS CANTONERAS EN PUENTES.....		57
4.1.	Identificación de fallas según tipo de cantonera en base a la literatura.	57
4.1.1.	Cantoneras de juntas abiertas:	58
4.1.2.	Cantoneras de juntas cerradas.	59
4.2.	Identificación de fallas presentes en cantoneras de puentes inspeccionados.....	61
4.2.1.	Fallas identificadas en cantoneras de juntas abiertas.....	65
4.2.2.	Fallas identificadas en cantoneras de juntas cerradas.....	73
4.3.	Clasificación de observaciones levantadas a considerar para mantenimiento preventivo o correctivo.	84
4.3.1.	Observaciones de riesgo para mantenimiento preventivo.	84
4.3.2.	Observaciones de fallas para mantenimiento correctivo.	85
4.4.	Identificación y análisis de las fallas más frecuentes.....	87
4.4.1.	Placa deslizante.....	87
4.4.2.	Elastomérica de EPDM inflable.	90
4.4.3.	Elastomérica reforzada.	92
4.5.	Identificación de fallas que afectan la seguridad de operación en puentes.....	94
4.6.	Identificación de fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales en puentes.	95

Capítulo 5: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LOS PROCESOS

CONSTRUCTIVOS PARA EL MANTENIMIENTO DE CANTONERAS EN PUENTES. 97

5.1.	Selección y agrupación de fallas que comprende la estandarización.....	97
5.2.	Estandarización de procesos constructivos.....	99
5.2.1.	Cantoneras metálicas (CE1, CE2, CE3 y CE4).....	100
5.2.2.	Cantoneras elastoméricas (CE5, CE6, CE7, CE8 y CE9).....	113

Capítulo 6: ANÁLISIS DE COSTOS A LA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE CANTONERAS. 136

6.1.	Costos de estandarización proceso constructivo CE1.....	138
6.2.	Costos de estandarización proceso constructivo CE2.....	139
6.3.	Costos de estandarización proceso constructivo CE3.....	141
6.4.	Costos de estandarización proceso constructivo CE4.....	143
6.5.	Costos de estandarización proceso constructivo CE5.....	144
6.6.	Costos de estandarización proceso constructivo CE6.....	146
6.7.	Costos de estandarización proceso constructivo CE7.....	147
6.8.	Costos de estandarización proceso constructivo CE8.....	149
6.9.	Costos de estandarización proceso constructivo CE9.....	150
6.10.	Comparación de costos de reparación del sistema completo versus costos de reparación parcial para las 9 propuestas de estandarización.....	151
6.10.1.	Costos de reparación M2.	152
6.10.2.	Costos de reparación E3.	155
6.10.3.	Costos de reparación E4.	158

CONCLUSIONES..... 161

BIBLIOGRAFÍA..... 164

ANEXOS..... 167

Índice de figuras

Figura 3.1: Georreferenciación de puentes inspeccionados en la región de Valparaíso.	42
Figura 3.2: Identificación tipos de juntas encontradas.	44
Figura 3.3: Tipos de cantoneras identificadas.	45
Figura 3.4: Detalle constructivo de cantonera de guarda canto.	46
Figura 3.5: Cantonera de guarda canto en puente Los Olmos.	47
Figura 3.6: Detalle constructivo de cantonera de placa deslizante.	48
Figura 3.7: Cantonera de placa deslizante en puente Pasarela La Laguna.	48
Figura 3.8: Detalle constructivo de cantonera de placa dentada.	49
Figura 3.9: Cantonera de placa dentada en puente Colmo.	49
Figura 3.10: Detalle constructivo de cantonera a compresión de sección abierta.	50
Figura 3.11: Proceso constructivo e instalación de sellos a compresión.	51
Figura 3.12: sello a compresión sección abierta en puente Petorca.	52
Figura 3.13: Detalle constructivo de cantonera a compresión de sección cerrada.	53
Figura 3.14: sello a compresión sección cerrada en puente Chagres.	53
Figura 3.15: Detalle constructivo de cantonera de EPDM inflable.	54
Figura 3.16: Cantonera de EPDM inflable en puente Illalolén.	55
Figura 3.17: Detalle constructivo de cantonera elastomérica reforzada.	55
Figura 3.18: Cantonera elastomérica reforzada en puente Tres Esquinas.	56
Figura 4.1: Ilustración de falla M1.F1.1.	65
Figura 4.2: Ilustración de falla M1.F2.1.	66
Figura 4.3: Ilustración de falla M1.F3.1.	66
Figura 4.4: Ilustración de fallas M1.F3.2. y M1.F3.3.	67
Figura 4.5: Ilustración de fallas M1.F4.1. y M1.F4.2.	67
Figura 4.6: Ilustración de falla M2.F1.1.	68
Figura 4.7: Ilustración de falla M2.F4.1.	68
Figura 4.9: Ilustración de falla M2.F2.3.	69
Figura 4.8: Ilustración de falla M2.F2.1 y M2.F2.2.	69
Figura 4.10: Ilustración de falla M2.F4.1.	69
Figura 4.11: Ilustración de fallas M2.F3.2. y M2.F3.4.	70

Figura 4.12: Ilustración de fallas M2.F3.5. y M2.F3.6	70
Figura 4.13: Ilustración de fallas M2.F3.3	70
Figura 4.14: Ilustración de fallas M2.F3.7	71
Figura 4.15: Ilustración de falla M3.F1.1	71
Figura 4.16: Ilustración de fallas M3.F1.1 y M3.F4.1	71
Figura 4.17: Ilustración de falla M3.F2.1. y M3.F2.3.....	72
Figura 4.18: Ilustración de falla M3.F2.1.	72
Figura 4.19: Ilustración de falla M3.F3.3.	72
Figura 4.20: Ilustración de falla M3.F3.1.	72
Figura 4.22: Ilustración de falla M3.F3.4.	73
Figura 4.21: Ilustración de falla M3.F3.5.	73
Figura 4.24: Ilustración de falla E1.F1.1.....	74
Figura 4.23: Ilustración de falla E1.F1.1.....	74
Figura 4.26: Ilustración de falla E1.F2.2.....	74
Figura 4.25: Ilustración de falla E1.F2.1.....	74
Figura 4.27: Ilustración de falla E1.F3.1.....	75
Figura 4.28: Ilustración de falla E1.F3.2.....	75
Figura 4.29: Ilustración de falla E1.F3.3.....	76
Figura 4.30: Ilustración de falla E2.F1.1.....	76
Figura 4.32: Ilustración de falla E2.F2.2.....	77
Figura 4.31: Ilustración de falla E2.F2.1.....	77
Figura 4.34: Ilustración de falla E2.F3.2.....	77
Figura 4.33: Ilustración de falla E2.F3.1.....	77
Figura 4.35: Ilustración de falla E2.F3.3. y E2.F3.4.	78
Figura 4.36: Ilustración de fallas E3.F1.1	79
Figura 4.38: Ilustración de fallas E3.F2.2	79
Figura 4.37: Ilustración de fallas E3.F2.2	79
Figura 4.39: Ilustración de fallas E3.F3.1	80
Figura 4.40: Ilustración de fallas E3.F3.4	80
Figura 4.41: Ilustración de fallas E3.F3.3	80
Figura 4.42: Ilustración de falla E3.F4.1	81

Figura 4.44: Ilustración de falla E3.F4.2.....	81
Figura 4.43: Ilustración de falla E3.F4.1	81
Figura 4.45: Ilustración de falla E4.F1.1	82
Figura 4.46: Ilustración de falla E4.F2.1	82
Figura 4.47: Ilustración de falla E4.F2.2.....	82
Figura 4.49: Ilustración de falla E4.F3.2 y E4.F3.3	83
Figura 4.48: Ilustración de falla E4.F3.1 y E4.F4.1	83
Figura 4.51: Ilustración de falla E4.F5.1 y E4.F5.2	84
Figura 4.50: Ilustración de falla E4.F4.2 y E4.F4.3	84
Figura 5.1: Esquema representación general de fallas <i>en M2</i>	101
Figura 5.2: Esquema representación general de falla <i>para estandarización CE1</i>	102
Figura 5.3: Corte transversal de cantonera y <i>zona de</i> falla.	103
Figura 5.4: Corte transversal de cantonera y falla reparada <i>para CE1</i>	105
Figura 5.5: Esquema representación general de fallas <i>para CE2</i>	105
Figura 5.6: Corte transversal y vista superior, perfilado de fisuras.....	106
Figura 5.7: Corte transversal y vista superior, soldaduras ejecutadas.....	107
Figura 5.8: Esquema representación general de fallas.	108
Figura 5.9: Corte transversal y vista superior, perfilado de cortes.....	109
Figura 5.10: Corte transversal y vista superior, soldaduras ejecutadas para CE3.....	110
Figura 5.11: Vista superior de falla para CE4.....	110
Figura 5.12: Vista superior y corte transversal, perfilado de cortes.....	112
Figura 5.13: Vista superior y corte transversal, soldaduras ejecutadas.....	113
Figura 5.14: Esquema general de fallas para E3.	114
Figura 5.15: Esquema general de fallas para CE5.	115
Figura 5.16: Corte transversal, perfil despegado en caso CE6.	117
Figura 5.17: Isométrico, corte y extracción de perfil Jeene.	119
Figura 5.18: Esquema general de falla en caso CE7.....	121
Figura 5.19: Isométrico, corte y extracción de perfil Jeene y hombro de transición.	123
Figura 5.20: Corte transversal, instalación de moldaje.	123
Figura 5.21: Corte transversal, termino de reparación CE7.....	124
Figura 5.22: Esquema general de fallas para E4.	125

Figura 5.23: Esquema general de falla para caso CE8.....	126
Figura 5.24: Corte transversal, retiro de mortero elastomérico dañado; CE8.....	128
Figura 5.25: Corte transversal, reparación terminada para CE8.	129
Figura 5.26: Corte transversal, material dañado en hombro de apoyo; CE9.	130
Figura 5.27: Corte transversal, remoción de labio de transición y sellos dañados; CE9.	132
Figura 5.28: Corte transversal, corte transversal y levante de perfil; CE9.....	133
Figura 5.29: Corte transversal, perforación para extraer perno de anclaje; CE9.	133
Figura 5.30: Corte transversal, instalación de moldajes; CE9.	134
Figura 5.31: Corte transversal, reparación finalizada; CE9.	135
Figura 6.1: Costos de estandarización proceso constructivo CE1.	138
Figura 6.2: Costos de estandarización proceso constructivo CE2.	140
Figura 6.3: Costos de estandarización proceso constructivo CE3	142
Figura 6.4: Costos de estandarización proceso constructivo CE4.	143
Figura 6.5: Costos de estandarización proceso constructivo CE5.	145
Figura 6.6: Costos de estandarización proceso constructivo CE6.	146
Figura 6.7: Costos de estandarización proceso constructivo CE7.	148
Figura 6.8: Costos de estandarización proceso constructivo CE8.	149
Figura 6.9: Costos de estandarización proceso constructivo CE9.	150
Figura 6.10: Costos de reparación total sistema M2.	152
Figura 6.11: Costos de reparación total sistema E3.	155
Figura 6.12: Costos de reparación total sistema E4.	158

Índice de tablas

Tabla 3.1: Clasificación de sistemas de cantoneras.....	33
Tabla 3.2: Lista de puentes inspeccionados.	34
Tabla 3.3: Identificación tipo de junta correspondiente a cada puente inspeccionado.	36
Tabla 3.4: Clasificación de cantoneras identificadas en puentes inspeccionados.	38
Tabla 4.1: Cuadro general de fallas identificadas en cantoneras metálicas.	57
Tabla 4.2: Cuadro general de fallas identificadas en cantoneras elastoméricas.....	58
Tabla 4.3: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.....	79
Tabla 4.4: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.....	80
Tabla 4.5: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.....	80
Tabla 4.6: Fallas que afectan la seguridad de operación.	88
Tabla 4.7: Fallas que afectan la seguridad de operación.	89
Tabla 5.1: Selección de fallas para estandarizaciones.....	92
Tabla 5.2: Propiedades físicas para adhesivo epóxico de montaje.....	112
Tabla 5.3: Propiedades físicas para mortero elastomérico de transición.....	115
Tabla 5.4: Propiedades físicas para adhesivo epóxico de montaje.....	116
Tabla 5.5: Propiedades físicas para mortero elastomérico.	121
Tabla 5.6: Propiedades físicas para anclaje químico.....	125
Tabla 6.1: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.....	147
Tabla 6.2: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.....	150
Tabla 6.3: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.....	153

Índice de gráficos

Gráfico 4.1: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera de placa deslizante.	82
Gráfico 4.2: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera de placa deslizante.	83
Gráfico 4.3: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera de EPDM inflable.....	84
Gráfico 4.4: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera elastomérica de EPDM inflable.	85
Gráfico 4.5: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera elastomérica reforzada.	86
Gráfico 4.6: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera elastomérica reforzada.	87
Gráfico 6.1: Costos de reparación parcial en relación a M2.	148
Gráfico 6.2: Costos de reparación parcial en relación a E3.	150
Gráfico 6.3: Costos de reparación parcial en relación a E4.	153

Glosario

Auscultación: Proceso de verificar el estado del hormigón en una estructura por medio del sonido de respuesta que se consigue al dar golpes sobre la superficie por medio de martillo o barra de acero.

Cantonera: Elemento de protección a las aristas o bordes superiores de los tableros que quedan expuestos a nivel de superficie, en el plano de la calzada, a ser deteriorados por el impacto de los vehículos en las discontinuidades generadas en los tableros para juntas de dilatación.

Elastómeros: Son polímeros que presentan un comportamiento elástico, al ser sometidos a una fuerza se deforman, pero tienen la capacidad de recuperar su forma inicial al dejar de actuar sobre ellos dicha fuerza.

Esviaje: Cuando el eje longitudinal del puente y el eje longitudinal del río forman un ángulo diferente a 90° , implicando que la planta del tablero no pueda ser rectangular al menos en los empalmes con los estribos.

Infraestructura de un puente: Es la parte inferior de un puente considerando los elementos estructurales que lo componen bajo las vigas principales, es decir, desde las cepas o estribos hasta las fundaciones que transmiten las cargas al suelo.

Mesa de apoyo: superficie de apoyo generada sobre una cepa o en estribos para recibir las cargas de la superestructura, sobre ellas, se posicionan las placas de apoyo quedando como elemento intermediario entre la mesa de apoyo y vigas principales.

Mortero epóxico: Es un conglomerado que se forma al mezclar algún tipo de árido fino generalmente arena de sílice, con algún aglomerante epóxico (resina).

Placa de apoyo: Placa de neoprene reforzada con láminas de acero, sobre la cual descansan las vigas de la superestructura. Además de transferir las cargas de la superestructura a la infraestructura, disipan y aíslan los movimientos de traslación y rotación producto de expansiones térmicas, cargas dinámicas, vibraciones y movimientos de pretensado de vigas, entre otros.

Polimérico: Son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Superestructura de un puente: Es la parte superior de un puente considerando los elementos estructurales que lo componen a partir de las vigas principales.

Resumen

Se ha identificado que, en Chile, de acuerdo a lo que establece el Manual de Carreteras en su volumen número 7, existe falta de información estandarizada respecto de los procesos constructivos necesarios para el mantenimiento de cantoneras, que apunten a la conservación y extensión de la vida útil del elemento previo a ser necesario su reemplazo total. Las cantoneras, son uno de los elementos más expuestos a deterioro en la superestructura de un puente carretero debido a que son constante y fuertemente golpeadas por las cargas del tráfico vehicular, el cual, las afecta acelerando el deterioro y su durabilidad. En consecuencia, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Será factible estandarizar procesos constructivos para el mantenimiento de cantoneras en puentes?

El objetivo de esta investigación fue estudiar y elaborar una propuesta de estandarización a los procesos constructivos necesarios para el mantenimiento de cantoneras más frecuentemente utilizadas en puentes de Chile.

Para alcanzarlo, se dividió la investigación en las siguientes etapas: Se identificó los sistemas de cantoneras más utilizadas en la región de Valparaíso y se realizó un diagnóstico de las fallas, en base a lo anterior, se elaboró una propuesta de estandarización de los procesos constructivos necesarios en reparación a las fallas más frecuentes encontradas. Finalmente, se determinó los costos por metro lineal que significaría cada propuesta.

Para identificar las cantoneras más utilizadas y sus fallas, se inspeccionó visualmente a 49 puentes elegidos de manera aleatoria pero distribuidos representando la extensión de la región. El análisis de las fallas fue complementado por revisión bibliográfica y, la frecuencia en la recurrencia de ellas se determinó por su porcentaje de repetitividad dentro de un sistema común de cantoneras.

Finalmente, fue posible elaborar 9 propuestas de procesos constructivos estandarizados, para los cuales, la media porcentual de los costos que implicó cada propuesta se encontró en un 32.11% en relación al costo total de reparación. Lo cual, indicó que, en términos de costos, el mantenimiento correctivo además de ser posible y una buena política de conservación, reduce significativamente los costos totales de reparación.

Palabras claves: puentes, cantoneras, juntas de expansión, fallas, mantenimiento.

Abstract

It has been identified that, in Chile, according to what is established in the Manual of Highways in its volume number 7, there is a lack of standardized information regarding the construction processes necessary for the maintenance of corners, which aim at the conservation and extension of the useful life of the element before its total replacement is necessary. The corners are one of the elements most exposed to deterioration in the superstructure of a highway bridge because they are constantly and strongly hit by the loads of vehicular traffic, which affects them, accelerating deterioration and their durability. Consequently, the following research question was raised: Will it be feasible to standardize construction processes for the maintenance of corners on bridges?

The objective of this research was to study and develop a standardization proposal for the construction processes necessary for the maintenance of the most frequently used corners on bridges in Chile.

To achieve this, the investigation was divided into the following stages: The most used corner systems in the Valparaíso region were identified and a diagnosis of the failures was made, based on the above, a proposal for the standardization of the construction processes was elaborated. necessary to repair the most frequent failures found. Finally, the costs per linear meter that each proposal would mean were determined.

To identify the most used corners and their failures, 49 randomly chosen bridges were visually inspected but distributed representing the extension of the region. The analysis of the faults was complemented by a bibliographical review and the frequency of their recurrence was determined by their percentage of repetitiveness within a common system of corners.

Finally, it was possible to elaborate 9 proposals for standardized construction processes, for which the average percentage of the costs that each proposal implied was found to be 32.11% in relation to the total cost of repair. Which indicated that, in terms of costs, corrective maintenance, in addition to being possible and a good conservation policy, significantly reduces total repair costs.

Keywords: bridges, corners, expansion joints, failures, maintenance.

Capítulo 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. Introducción.

Las cantoneras son elementos que se encuentran a nivel de superestructura de un puente, situadas en las zonas donde se interrumpe la continuidad del tablero y calzada, protegiendo los cantos vivos, ya que estos, se ven comprometidos a recibir el golpe directo de las ruedas de todo tipo de vehículo que demande el uso de esta vía. Permiten los movimientos relativos entre dos partes de una estructura. Algunos proyectos de puentes interrumpen los tableros para cubrir requerimientos estructurales de diseño y construcción, para garantizar los movimientos reológicos como cambios de temperatura (principalmente), efectos de retracción del hormigón o flujo plástico, acortamientos por pretensado para el caso de superestructuras sustentadas mediante vigas de hormigón armado, cargas de tráfico, sismos, asentamientos diferenciales o tolerancias requeridas, compatibles con las condiciones de apoyo. Además, hoy en día se emplean también dispositivos de juntas cerradas que protegen estos puntos de discontinuidad del tablero y calzada, manteniéndolos libre de elementos que puedan caer allí y quedar atrapados afectando la libertad del movimiento contemplado para la estructura. No es menor, asegurar también la estanqueidad impidiendo el ingreso del agua a través de estos espacios pudiendo afectar a los elementos de acero. Los tipos de juntas deben considerar además del confort para los usuarios vehiculares, el desplazamiento pedestre, de bicicletas y de motos, garantizar también la debida seguridad de tránsito para los usuarios.

Originalmente, los sistemas de juntas de dilatación solían ser de acero, considerando pletinas metálicas soldadas a uno de los dos perfiles ángulo de acero en cada punto de encuentro entre cantos de losas o tableros, siendo este elemento, anclado al hormigón de la losa mediante espárragos soldados a los perfiles ángulo y, distribuidos uniformemente a lo ancho de toda esta zona de junta. Ya el proceso de construcción inicial, cuando éste se lleva a cabo en conjunto con la construcción inicial del puente, resulta un proceso dificultoso. A la hora de realizar el reemplazo de este elemento por efecto del deterioro, resulta un proceso aún más dificultoso y costoso en recursos de tiempo, costo económico para la intervención, y el costo adicional que implica cerrar la vía, ya que, los puentes representan puntos estratégicos de conectividad para una parte importante del desarrollo y movimiento de la economía del país.

Hoy en día, se puede encontrar soluciones para juntas de dilatación identificándolas según su materialidad como: Metálicas o Elastoméricas.

Los elementos de juntas de dilatación se ven fuertemente afectados a deterioro principalmente por la acción del tráfico vehicular, luego se consideran también los efectos climáticos y el entorno propiamente tal de la zona donde se sitúen. Por estos motivos, las

cantoneras son uno de los elementos de un puente que necesitan mantenimiento con mayor frecuencia, o en su defecto, ser reemplazadas.

El efecto de su mal estado de conservación, o peor aún, la inexistencia cantoneras, afecta principalmente de forma grave al deterioro en la estructura de tableros, placas de apoyo, mesas de apoyo, pernos antisísmicos, puntos de anclaje de vigas metálicas, como también, incidir en la seguridad de los usuarios que transitan, pudiendo generar daños a los vehículos, accidentes de tránsito vehicular producto de la desestabilización y/o pérdida del control debido a enfrentar un surco de sección considerable, perfil metálico suelto, anclajes expuestos sobresalientes en la vía como objetos punzantes, entre otros.

Pese a la variabilidad de opciones y soluciones existentes en Chile para juntas de dilatación, se detecta falta de una referencia clara de procesos constructivos para el mantenimiento correctivo de las cantoneras en etapas tempranas, antes de requerir la extracción y reemplazo total del sistema, identificando las intervenciones más necesarias respecto de los sistemas de juntas de acuerdo a cada tipo de falla que puedan presentar a lo largo de la vida útil, considerando también, que mantenimientos de tipo correctivo, permitirán extender la vida útil y tiempo de servicio de estos elementos antes de tener que ejecutar obras más destructivas y costosas para la sustitución completa del elemento.

En vista del actual plan del gobierno, poniendo mayor atención en el estado actual del patrimonio vial y destinando recursos con fuertes inversiones para la conservación de puentes, mediante el siguiente estudio, se pretende estudiar los sistemas de cantoneras más frecuentemente utilizados en la región de Valparaíso, de manera de poder proponer una estandarización para los procesos constructivos según los tipos de intervenciones más necesarios de acuerdo a los tipos de fallas visualizados en esta investigación en relación al espacio muestral de puentes seleccionados para este estudio.

1.2. Estado del arte.

Una red de transporte es importante para el desarrollo social y económico de un país, dentro de esta red parte importante de la conectividad está dada por los puentes. (Valenzuela Díaz, 2008).

Los puentes cumplen con una función muy importante para la productividad de una nación, ya que mejora las condiciones para todo aquel que los utiliza acortando distancias, disminuyendo tiempos de desplazamiento, descongestionando vías cercanas y reduciendo costos operativos en el transporte de habitantes y alimentos, además, estos son necesarios al momento de resguardar y no alterar un accidente geográfico como un valle, un cañón, un río, un camino, una vía férrea o cualquier otro obstáculo físico. (Quezada Moreno & Quiroga Abarca, 2019). Las características geográficas de nuestro país hacen necesaria la implementación de una gran cantidad de puentes.(Santana Oyarzo, 2006). Debido a su

importancia estratégica, estas estructuras, representan puntos críticos en las redes donde están insertas. (Molina Schulz, 2012)

Mantener las estructuras en una buena condición de serviciabilidad es complicado por la variedad de tipos de estructura, materiales y fallas que presentan los puentes. (Valenzuela Díaz, 2008).

En nuestro país la infraestructura vial ha experimentado un fuerte desarrollo, acorde al constante crecimiento económico de los últimos años, es por esto que la construcción de nuevas carreteras y líneas de transporte público, como el Metro y Ferrocarriles, seguirán extendiendo y mejorando los sistemas viales ya existentes. Por otra parte, existe suficiente evidencia que la infraestructura vial particularmente los puentes, requieren de un cuidado y mantención especial para asegurar su vida útil. (Ortúzar Núñez, 2007). Es por esta razón que el Ministerio de Obras Públicas tiene un rol fundamental en la mantención de los puentes, ya que mediante un apropiado sistema de mantención de las estructuras nos permita brindar la seguridad y fluidez del tránsito requeridas por los usuarios. (Santana Oyarzo, 2006).

Es posible notar que un gran número de puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas regular a malas, también, en algunos casos condiciones críticas, poniendo en riesgo la seguridad de la sociedad y produciendo pérdidas económicas. (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

Los puentes ubicados en las principales carreteras han estado sujetos a un incremento substancial en el volumen de tráfico y de pesos desde su fecha de construcción. El desarrollo de tecnologías ha permitido la aparición de vehículos de mayor peso, los puentes más antiguos fueron calculados para camiones AASHTO H-15, cuyo peso era de 13,6 Ton. en tanto los camiones modernos podrían llegar a un peso de 75 Ton. Numerosos puentes de la red nacional de carreteras presentan daños importantes, como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas.(Valenzuela Díaz, 2008)

Las patologías más comunes son: problemas en los cimientos y juntas, movimiento estructural general de la estructura, movimiento rotacional total de la estructura, desgaste y defectos en la pista, juntas con espacios insuficientes o condiciones inapropiadas, cambios de los cursos de agua que provocan erosión y rompimiento de los cimientos, problemas con la mantención del equipo de apoyo. (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

La circulación de vehículos propiamente tal, deteriora el pavimento de la estructura provocando desgastes, ahuellamientos, fisuras, alabeos, asentamientos y otros. Asimismo, se dañan las juntas de expansión, se sueltan las cantoneras, se obstruyen las juntas y barbacanas, etc. Las cantoneras sueltas y/o torcidas deben reemplazarse.(Dirección de Vialidad - MOP, 2020)

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, provocando muchas veces altos gastos de reparación, como describió Raina (2003).

El daño en las juntas de puentes causa millonarias pérdidas para el Ministerio de Obras Públicas, esto incluye tanto a la junta como a los elementos que quedan afectados por la acción del agua y escombros que se introducen en las juntas del tablero. Para reducir el daño bajo la cubierta los diseñadores llenan o cubren la junta con materiales de sello flexibles. (Ortúzar Núñez, 2007). También, el reemplazo de una junta de expansión dañada tiene un costo relativamente alto, ya que los costos indirectos que se dan al cerrar una carretera, temporalmente al tráfico, son adicionales al costo de la junta en sí. (de la Cruz Camey, 2005).

Sin embargo, el costo anual de la accidentabilidad vial se ha estimado en US\$ 6.000 millones al año -del orden del 2% del PIB-, un monto de recursos equivalente a la inversión total anual en infraestructura con recursos públicos en el país. (CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura), 2019).

Las soluciones típicas para estos bordes en los casos de tableros de hormigón incluyen el uso del labio de transición o de perfiles angulares anclados a la estructura para protección de borde. Ambas soluciones fallan a los pocos meses de instaladas a pesar de los estrictos controles de la administración durante su ejecución. (Kröger, 2013). En la investigación efectuada sobre juntas de expansión de puentes en servicio en Gran Bretaña, Black determinó que uno de cada seis puentes presentaba signos de falla en las juntas después de uno o dos años de estar contruidos. (de la Cruz Camey, 2005)

Esto sucede cuando el tipo de junta seleccionado no es el adecuado, lo cual depende del tipo de puente, su tipología y longitud o cuando las juntas no están adecuadamente ancladas a los componentes del puente (funcionamiento no solidario), tales como los diafragmas del estribo, la losa, entre otros. Este problema se refleja en el deterioro y desprendimiento de sus partes por la inadecuada conformación combinada con un aumento de impacto. (Muñoz & Gómez, 2013)

Se considera que se puede evitar muchas de las fallas en las juntas. Dichas fallas fueron atribuidas en parte a un diseño inadecuado resultante de la falta de conocimiento de los esfuerzos que se desarrollan en las juntas bajo la acción del tráfico. (de la Cruz Camey, 2005).

El tráfico diario en los puentes aumenta con el paso del tiempo y en todo el mundo, por eso es vital encontrar un modo de proteger estas estructuras de fallas y daños. (Bouhaloufa et al., 2018)

En Europa, la tendencia de las últimas décadas ha sido el uso de juntas de neopreno ancladas que consisten en una banda de material elastomérico con refuerzos interiores de acero que se anclan a la estructura con mortero de resina epoxi y pernos metálicos. (Kröger, 2013).

Existen una gran variedad de juntas de expansión muchas de ellas han sido utilizadas en puentes por largos años, pero debido al creciente avance de la tecnología y del mercado han aparecido nuevas técnicas y materiales que dejan en evidencia la necesidad de utilizar esta tecnología, ya sea en puentes nuevos o también en obras de reparación y conservación. (Santana Oyarzo, 2006).

Sin embargo, el problema de la solución de las juntas de dilatación en los puentes no está resuelto, incidiendo grandemente en el deterioro de los mismos. (Raina, 2003)

Las juntas de expansión dañadas pueden ser un alto riesgo para los vehículos, por lo que es recomendable que las juntas se inspeccionen con regularidad. (de la Cruz Camey, 2005).

La seguridad vial es un atributo relevante del transporte terrestre, pues permite resguardar la integridad física de las personas y las mercancías que circulan por la red vial. Cada vez que ocurre un siniestro de tránsito, la sociedad recibe un daño material e inmaterial significativo. (Departamento de Seguridad Vial - MOP, 2020). Es una materia siempre preocupante, en tanto se provocan más de 1.500 muertes en promedio al año por accidentes viales. Ha habido algunos progresos en los últimos tiempos, pero que resultan claramente insuficientes en medio de un parque automotor siempre creciente, una infraestructura vial todavía deficitaria, institucionalidad y normas desactualizadas o inconexas, y pocas evidencias de una mayor conciencia y responsabilidad de los conductores. El balance es que Chile tiene el peor registro de seguridad vial dentro de los países de la OCDE. (CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura), 2019).

Existen 3 factores que inciden en la ocurrencia de un accidente vial: el conductor, el vehículo y la infraestructura. (Horn, 2017). Esteban Salinas, director para Latinoamérica y el Caribe de la Federación Internacional de Rutas (IRF, por su sigla en inglés) explica la importancia de la seguridad en la infraestructura vial. Una causa que, a pesar de que ocupa un lugar menor en los siniestros del país, según CONASET, es el factor de cerca de un 30% de las muertes por accidentes de tránsito, de acuerdo a las cifras a nivel global. (Salinas & CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura), 2018). Esto depende del diseño y construcción de la vía y, en consecuencia, de la calidad de la infraestructura, pero si pensamos que en Chile se producen 1.600 fatalidades al año, es factible estimar que cerca de 500 son efecto de deficiencias de las vías. (Horn, 2017). Conviene tener presente que dos de cada tres accidentes de tránsito en el país se deben a mala calidad de infraestructura vial o, directamente, a falta de esta infraestructura. (CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura), 2019).

Puede afirmarse que el aporte del camino a la seguridad de tránsito, consiste en promover y facilitar una interacción segura y armónica para todos sus usuarios, y para el entorno directo de la vía. (Departamento de Seguridad Vial - MOP, 2020).

La infraestructura vial es un factor de desarrollo económico y social, por lo que esta debe ser gestionada de manera eficiente. El estado de la infraestructura vial influye directamente en los costos incurridos por los usuarios que la utilizan. (de Solminihaç, Echavveuren, & Alondra, 2018).

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) anunció un amplio plan de inversión en viaductos por 978.000 millones de pesos (US\$1.500 millones), que comprende la intervención en 229 puentes. El plan contempla inversiones hasta el 2023 e implica la rehabilitación de 127 puentes, la construcción de otros 64 y la ejecución de obras de conservación y mantenimiento de 34 más (mccopa, 2018).

Al año siguiente, en un artículo del blog Ingeweek (2019) se señala que: “según el MOP hay 14 puentes en estado crítico, dos reparados, tres en reparación y uno que colapsó en Cancura; 145 requieren reparación en uno a dos años y 856 están en estado de conservación bueno a regular”.

Caminos, túneles y puentes, entre otros, deben ser catastrados, monitoreados y bien mantenidos, con el objetivo de ofrecer condiciones cómodas y seguras para la circulación de vehículos y personas que hacen uso de ellas. (Ingeweek, 2019)

La inspección de puentes utilizada en Chile se basa en la experiencia de las agencias e inspectores de puentes, ya que el procedimiento exigido por el Manual de Carreteras – Volumen 7, define defectos y elementos de la estructura solamente. Existe una estructura de adquisición y manejo de información débil y no estandarizada. (Valenzuela Díaz, 2008).

Asimismo, ante la actual variedad de soluciones para juntas de dilatación y la reciente implementación de inversiones destinadas a mantenimiento para la conservación de puentes en Chile, se identifica un manejo de información débil, generalizada y no estandarizada, respecto de operaciones de mantenimiento estandarizadas que ilustre los tipos de intervenciones a realizar, procedimiento y materiales adecuados para ejecutar reparaciones parciales acorde a las necesidades de cada sistema para conservar y cuidar la vida útil de las cantoneras. En el contexto anterior se plantea como pregunta de investigación lo siguiente: ¿Será factible técnica y económicamente estandarizar procesos constructivos para el mantenimiento correctivo de cantoneras en puentes antes de requerir reemplazar totalmente el sistema empleado?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Elaborar una propuesta de estandarización a los procesos constructivos necesarios para el mantenimiento de cantoneras en puentes.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Identificar los diferentes tipos de cantoneras utilizados más frecuentemente en Chile
- Realizar un diagnóstico respecto de identificar las principales fallas que sufren las cantoneras en la vida útil del puente.
- Proponer la estandarización del mantenimiento de las cantoneras mediante el mejoramiento y optimización de los procesos constructivos necesarios.
- Evaluar y determinar los costos que significa la estandarización del mantenimiento de cantoneras.

1.4. Hipótesis.

Las cantoneras en puentes requieren de mantenimiento para garantizar la seguridad de operación y vida útil de los puentes.

1.5. Alcances y limitaciones.

Alcances:

- Identificar las necesidades de mantenimiento que puedan requerir los sistemas de cantoneras en base a lo detectado en los puentes inspeccionados.
- Reordenar y ajustar la información existente respecto de los procesos constructivos más apropiados para cada caso de intervención en las propuestas a generar para operaciones de mantenimiento correctivo (previo a la necesidad de sustitución completa del sistema de cantoneras), de acuerdo a las fallas identificadas en las cantoneras más frecuentemente utilizadas.
- Corroborar la factibilidad técnica de realizar mantenimiento correctivo considerando actividades parciales de reparación e identificar el beneficio que ello otorga en la reducción de los costos respecto del mantenimiento que solo contempla la sustitución completa.
- Identificar los riesgos que generan las fallas tanto para la durabilidad de elementos estructurales de los puentes y en la seguridad de operación.

Limitaciones:

- El espacio muestral de estudio se limitará a su desarrollo dentro de la región de Valparaíso, entendiendo que la muestra se refiere a los puentes inspeccionados.
- Se estudiarán puentes que su mantenimiento se encuentre a tuición del MOP, de largo mayor a 30 metros y/o se compongan de más de 2 tramos.
- Se inspeccionaron 49 puentes de la selección aleatoria tomada para esta investigación, debido a limitaciones en el acceso a ubicaciones bajo cordón sanitario debido al momento de contingencia sanitaria a causa del covid-19.
- Solo se estandarizarán los procesos constructivos necesarios para el mantenimiento de los tipos de cantoneras más frecuentemente utilizadas, de acuerdo a los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas.

- Las propuestas de mantenimiento correctivo generadas, se limitaron a solo generar soluciones en reparación de lo existente, sin modificar su diseño estructural ni proponer otro sistema de cantonera. No es el enfoque de esta investigación proponer un sistema de cantonera distinto a la solución puesta en sitio. Se asume que el diseño del sistema de cantonera encontrado es el adecuado para las condiciones de trabajo en las que se encuentra y se proponen intervenciones para el cuidado y preservar la durabilidad de lo existente.

1.6. Metodología.

Identificación de tipos de cantoneras utilizadas más frecuentemente en la región de Valparaíso.

a.- Estudio previo.

Se realizó un estudio bibliográfico recaudando la teoría esencial para entender la necesidad de la existencia de cantoneras en puentes, identificando en qué tipo de puentes se emplean, hallando una clasificación de las cantoneras y conocer los principales factores que las deterioran.

b.- Inspección visual.

Se realizó inspección visual al listado de puentes seleccionados para esta investigación, de los cuales, mediante una lista de chequeo acorde al formato del MOP, se identificó las características de cada puente, tanto características generales de: ubicación, materialidad del puente, extensión total, extensión por tramo, entre otros; como características específicas acorde a los requerimientos de información para el desarrollo de este estudio: tipo de cantonera, materialidad, dimensiones, cantidad, fallas observadas, entre otros. La inspección fue realizada por el alumno titular de la tesis, las mediciones realizadas fueron por medición directa a través de huincha de medir para levantar la información respecto de las dimensiones de las cantoneras, sus elementos que las componen, largo de la junta de dilatación, dimensiones y/o extensiones aplicadas a las fallas detectadas.

Respecto de la información obtenida en las inspecciones realizadas, se determinó el tipo de cantoneras más frecuentemente utilizadas.

Diagnóstico respecto de identificar fallas que sufren las cantoneras.

Para este estudio, se consideró las fallas detectadas en los sistemas de cantoneras que, mediante el proceso anterior, resultaron ser identificadas las más frecuentemente utilizadas.

Primero, en base a la literatura se identificó los tipos de fallas que puede presentar cada sistema de cantoneras, sus posibles causas y orígenes, consecuencias que implican estas fallas en las juntas de dilatación y elementos aledaños, y la evolución en el deterioro de estas mismas en caso de no efectuar reparaciones a tiempo.

Posteriormente, de acuerdo a las fallas detectadas en las inspecciones realizadas, se identificó la correspondencia de las observaciones levantadas clasificando si corresponden a requerimientos de mantenimiento preventivo, correctivo, son fallas críticas que implican el reemplazo total del sistema de cantonera, o si corresponden a intervenciones mal ejecutadas.

Respecto de la clasificación realizada, se identificó las fallas más frecuentes que aplican para generar propuestas de intervención de carácter correctivo (antes de requerir la sustitución completa del sistema de cantonera).

Se analizó detalladamente cada falla, identificando y argumentando su causa, efecto y relación con otras fallas detectadas en su orden de suceso, separando este análisis por cada sistema de cantonera al que corresponde.

Se analizó las fallas que inciden en la seguridad de operación de los puentes y en la durabilidad de elementos estructurales a los que afectan.

Propuesta de estandarización del proceso constructivo para el mantenimiento de cantoneras.

En base a la información identificada en el punto anterior, se elaboraron propuestas que dan solución a las fallas más recurrentes de los sistemas de cantoneras que datan una mayor utilización en puentes de Chile, según la información obtenida en este estudio.

Se generaron propuestas para operaciones de mantenimiento correctivo, haciendo relación entre las generalidades normadas por el Manual de Carreteras para estos casos, las especificaciones de la AASHTO, estudios respecto del diseño de juntas de dilatación en puentes, las especificaciones establecidas por los fabricantes en soluciones elastoméricas y especificaciones de los fabricantes de los materiales requeridos. Las propuestas se han estructurado siguiendo el mismo formato en que el MOP plantea las operaciones de mantenimiento a través del Manual de Carreteras, pero de manera específica y focalizada en la intervención de las fallas a corregir.

Evaluar y determinar los costos que significa la estandarización.

En base a la propuesta elaborada de estandarización del mantenimiento de cantoneras, se realizó un análisis de precios unitarios para cada una de las intervenciones generadas, considerando los costos directos por metro lineal, contemplando solo las variables que se ajustan o modifican en directa relación a la ejecución de 1 metro lineal de reparación.

Así también, considerando las mismas variables y rendimientos obtenidos, se realizó un análisis de precios unitarios para determinar el costo que implica ejecutar el reemplazo total para cada uno de los tres sistemas de cantoneras en cuestión.

De esta manera se pudo comparar el beneficio económico o el impacto que genera cada una de las propuestas en relación al costo del reemplazo total del sistema de cantonera al que corresponde.

Capítulo 2: MANTENIMIENTO PARA LA CONSERVACIÓN DE PUENTES EN CHILE.

La existencia de múltiples factores que dificultan la conectividad del país, hace vislumbrar la necesidad de contar con puentes en buenas condiciones para los usuarios, ya que muchas veces no existe otra alternativa viable o caminos alternativos dentro de un radio cercano, o peor aún, es la única vía de conexión, por lo que estos puentes se transforman en puntos críticos, siendo de vital importancia que se mantengan en buenas condiciones de servicio.

Desde el instante en que el puente entra en servicio comienza un proceso de desgaste y deterioro, por lo que se hace necesario realizar un mantenimiento y conservación de sus elementos. Es frecuente que al problema de la conservación se le asigne un tratamiento de “Proyecto Nuevo” para distribuir recursos, llegándose a actuar más bajo situaciones de emergencia que por una pensada y programada actividad de mantenimiento del puente (Carracedo Contador, 1994).

Por lo general, los puntos más vulnerables son los que fallan primero, por ejemplo, las juntas de expansión, los sistemas drenajes, entre otros (Molina Schulz, 2012).

La Dirección de Vialidad es el servicio del Estado que tiene como parte de su misión asegurar la conexión vial del país, tanto interna como externamente, con un adecuado y acordado estándar de servicio y seguridad, que permita el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de todos los habitantes del territorio (Dirección de Vialidad - MOP, 2020).

2.1. Modalidades de conservación para obras de ingeniería vial.

En Chile, la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas es la entidad responsable de la preservación del patrimonio vial de los caminos bajo su tuición, teniendo entre sus funciones, la de ejecutar las distintas obras de conservación que requiere la red vial. Tal entidad, a través del Manual de Carreteras en su volumen N°7 (edición 2020), establece las modalidades de conservación generales en base a las que se debe ordenar toda obra o labor de mantenimiento para la red vial del país, de manera de organizar y unificar la interpretación de conceptos.

Para ordenar y organizar la gestión de mantenimiento, se han definido tareas o actividades destinadas a resolver o a prevenir un problema particular de deterioro de la infraestructura vial. Cada una de esas tareas tiene un carácter específico y es fácilmente

individualizable; se considera como una unidad básica y se denomina operación de conservación u operación de mantenimiento.

El mantenimiento adecuado y oportuno de una vía requiere la realización de un conjunto de operaciones durante el período de servicio de la obra. Como una manera de ordenar y facilitar la programación de las muy diversas operaciones de conservación, se plantean dos tipos de clasificaciones. (Dirección de Vialidad - MOP, 2020)

2.1.1. Clasificación en función de la periodicidad.

En función de las características del trabajo y de la periodicidad con que suelen requerirse, éstas se clasifican en:

- Operaciones de conservación rutinaria.
- Operaciones de conservación periódica.
- Operaciones de conservación eventuales.

Operaciones de conservación rutinaria:

Se trata de operaciones a ejecutarse durante el año, determinadas en el diseño original de la obra, tienen por objeto la conservación, limpieza y buen funcionamiento de la obra física y se llevan a cabo normalmente a intervalos regulares predeterminados. Se incluyen en este grupo operaciones tales como:

- Limpieza de Faja.
- Remoción de Derrumbes.
- Limpieza de elementos de drenaje.
- Sellado de grietas en pavimentos asfálticos.
- Sellado de juntas y grietas en pavimentos de hormigón.
- Pintura de barandas metálicas, de hormigón o de madera en puentes.

Operaciones de conservación periódica:

Corresponden a intervenciones donde se efectúan cambios parciales o ajustes que es necesario realizar en forma cíclica, a distintos intervalos, para corregir posibles fallas o prevenir daños mayores derivados del desgaste por los efectos del clima, de las cargas de tráfico vehicular en cuanto a peso y frecuencia, y el tiempo de servicio. Se llevan a cabo antes de que las estructuras o elementos que constituyen la vía dejen de desarrollar eficientemente las funciones

para las que fueron diseñados y puedan implicar costos significativos al reponerlos parcialmente. Se incluyen en esta categoría:

- Reperfilado de taludes.
- Recebo de capas de rodadura granulares
- Sellos asfálticos.
- Reemplazo de drenes de pavimento.
- Reconstrucción de cunetas revestidas.
- Reemplazo de losas de hormigón por mezclas asfálticas.
- **Reemplazo de cantoneras en puentes.**
- Reemplazo de placas de apoyo.
- Relleno de grietas.

Operaciones de conservación eventuales:

Son aquellas que están sujetas a ciertas circunstancias no recurrentes dentro del año, como, por ejemplo, las relacionadas con las emergencias, entre las que se cuenta: el montaje de puentes modulares (único procedimiento identificado para esta clasificación según el “Listado y Clasificación de las Operaciones de Mantenimiento”, ubicado en el capítulo 7.300, volumen 7 del Manual de Carreteras, edición 2022).

2.1.2. Clasificación según el tipo de intervención.

Por otra parte, de acuerdo con el tipo de intervención, las operaciones de conservación se pueden clasificar en:

- Operaciones de conservación de rehabilitación.
- Operaciones de conservación de reposición.

Operaciones de Rehabilitación:

Corresponden a intervenciones destinadas a devolver a la obra deteriorada, al menos, su condición inicial y, a veces, reforzarla sin necesariamente alterar la estructura subyacente, con el objetivo de evitar su destrucción, preservar la calidad de rodadura y asegurar la integridad estructural. Típicamente en esta categoría se encuentran: nivelaciones de berma, los recibos de carpetas granulares, las reparaciones de superestructuras, los sellos, los tratamientos superficiales, los micro aglomerados, los recapados sobre pavimentos existentes, entre otros.

Operaciones de Reposición:

Se refieren a cualquiera de las técnicas que impliquen la renovación parcial o total del camino o de sus elementos existentes, de manera que cumplan con los objetivos para los cuales fueron instalados, que hayan cumplido su vida útil, se encuentren inutilizados o hayan sido destruidos. Pertenecen a esta categoría: reposición de señales, alcantarillas, puentes menores de 30 metros, losas de pavimentos de hormigón, reemplazo de drenes de pavimentos, entre otros. (Fuente: Manual de Carreteras, volumen N°7: “MANTENIMIENTO VIAL”. Edición 2022).

2.2. Mantenimiento en puentes.

Para abordar el mantenimiento en puentes de una manera más profunda, el Manual de Carreteras es el primer referente normalizador para el ordenamiento y clasificación de las diversas labores que se contemplan necesarias. En él, encontramos una guía extensa de las operaciones necesarias según la estructura afín de la que se esté tratando en cada “SECCIÓN”. Aun así, en el encontramos aspectos generales para cuando se requiera mirar en profundidad un punto en específico de las operaciones, para lo cual, Vialidad señala estar abierto a profundizar en las materias con los debidos argumentos y estudios extensos que justifican el planteamiento.

En cuanto a entender el mantenimiento de puentes en Chile y su ordenamiento para la ejecución de las diversas labores en orden de su periodicidad, dentro de la literatura abarcada, se destaca como Rodrigo Santana Oyarzo en su tesis “Mantenimiento de puentes de hormigón armado y mixto” explica conforme a lo que se establece en el Manual de Carreteras en su volumen N°7, el orden general y respectivas clasificaciones específicas de las operaciones de mantenimiento establecidas por la Dirección de Vialidad.

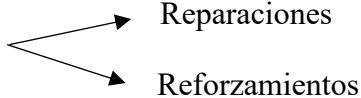
El mantenimiento de puentes, es una de las actividades más importantes entre las que hay que realizar para llevar a cabo la conservación de una red de carreteras. Para llevar a cabo un buen programa de conservación de puentes es necesario contar con un buen mantenimiento de las estructuras. La finalidad de este proceso, es la de brindar todas las condiciones de servicio necesarias para así poder mantener el puente en el mejor nivel posible. Ya que la falta de mantención de los puentes puede generar una serie de inconvenientes como son los de funcionalidad y seguridad que pueden llegar a ser graves; tales como restricciones de paso, limitaciones de carga, problemas de interrupciones de la red vial, riesgos de accidentes, etc. Lo que a su vez genera un importante problema económico por el acortamiento de la vida útil de las obras.

Todos los problemas mencionados anteriormente tienen causas que generalmente son comunes porque se hace necesario el mantenimiento de un puente, y estas son (Santana, 2006):

- Errores a la hora de realizar el proyecto, así como también a la hora de ejecutarlo.
- Problemas de vigilancia o inspección, mantenimiento o reparaciones inadecuadas o inexistentes.
- Acciones por el efecto de la naturaleza, de tipo mecánico o físico.
- Utilización de materiales inadecuados a los requerimientos necesarios.
- Deterioro y degradación de materiales.
- Acciones por el efecto de la naturaleza: terremotos, inundaciones, aludes, etc.
- Acciones de tipo accidental: impacto de vehículos contra la estructura.

2.2.1. Clasificación de mantenimiento en puentes.

Según las condiciones en las que se encuentre el puente, podemos agrupar las acciones de mantenimiento en 2 grupos principales:

- Mantenimiento rutinario.
- Mantenimiento periódico. 

El **mantenimiento rutinario** es una labor que debiera estar más arraigada en las instituciones encargadas de fiscalizar el estado de los puentes, ya que esta labor es una proyección a futuro, ya que impide que se presenten daños en el puente, o bien, que aumente cuantitativamente dichos daños (Santana, 2006).

Los trabajos de **reparación y reforzamiento**, se pretende que los puentes cuenten con un nivel de servicio que se acerque lo más posible a su condición inicial, es decir que cuente con las condiciones estructurales y de confort necesarias para un buen y seguro uso por parte de los usuarios. Sin embargo, esto es parte de una utopía ya que bien se sabe que existen diferentes factores que afectan a estas estructuras limitando progresivamente su estado, pero esto se puede revertir con una buena gestión de calidad enfocada en la conservación de la estructura.

2.2.1.1. Mantenimiento Rutinario:

Dentro de lo denominado como procedimientos básicos de mantención, tenemos la mantención rutinaria. Este proceso de conservación de las estructuras se puede clasificar en: ordinarias y extraordinarias; en función de que sean labores que se deban llevar a cabo en un

tiempo determinado, que se ha establecido o se deban efectuar solo cuando la evolución del estado del puente lo demande.

- Ordinarias: se refiere básicamente a la inspección, limpieza y pintura.
- Extraordinarias: abarcan un amplio campo que va desde la rehabilitación del hormigón degradado hasta la renovación de elementos de equipamiento, tales como juntas, impermeabilización de la estructura, etc.

El mantenimiento rutinario comprende aquellas actividades de mantenimiento en los puentes que deben ser realizadas por personal capacitado, que brinden responsabilidad en el proceso de mantención, generalmente la realiza un profesional a cargo. En Chile, este proceso es ejecutado por el personal del Ministerio de Obras Públicas, o bien, por medio de subcontratos los cuales son concesionados en licitaciones públicas.

Las actividades de mantención son:

- Señalización, pintura, alumbrado, etc.
- Limpieza de demarcaciones.
- Limpieza de drenes, estribos, cepas, etc.
- Limpieza y rehabilitación del cauce.
- Reemplazo de carpeta de rodado de accesos del puente.
- Limpieza y rehabilitación de juntas de dilatación.
- Protecciones contra la socavación.
- Limpieza y protección de apoyos.

Cabe destacar que la limpieza de juntas de dilatación es de importancia para mantenimientos rutinarios, generalmente se encuentran saturadas de desechos, por acción del tránsito vehicular el cual arrastra todas estas partículas al interior de las juntas, más la acción del viento, y lo que el agua de lluvia pueda arrastrar allí, lo cual incrementa la presencia de estos desechos afectando y deteriorando al elemento de junta de dilatación.

2.2.1.2. Mantenimiento Periódico:

Dentro de las acciones de mantenimiento periódico que se realizan más comúnmente son las siguientes:

- Reemplazo de cantoneras, la determinación de la acción se definirá según el estado de deterioro del elemento de junta, como también evaluando sus nuevas condiciones de servicio (si es que han cambiado, por ejemplo, las cargas de tráfico).

- Relleno de zonas erosionadas en los terraplenes de acceso, siendo esto un factor de vital importancia ya que en muchos casos la falta de material de apoyo en los terraplenes causa el deterioro de la carpeta de rodado.
- Sobre la carpeta de rodado o pavimento no sufre mayores problemas en el periodo inicial de uso, esto depende sin embargo de múltiples factores, así como también de que tipo de pavimento se utilice, pero normalmente las mezclas asfálticas presentan una mayor vida útil en comparación a los pavimentos normales, produciéndose la rotura al cabo de los años (de las mezclas asfálticas) por cuarteo, debido al propio envejecimiento de la mezcla y el despegue propiciado por el agua que escurre entre el pavimento y la losa. Cabe destacar que no es conveniente el reparar el pavimento añadiendo una capa sobre la existente, por lo que supone sobrecarga y en muchos casos la inhabilitación de juntas de dilatación y drenes.
- Las acciones de mantención y conservación que son realizadas sobre la superficie del pavimento consisten en el sellado de grietas o el aumento de capas finas a base de lechadas asfálticas que regeneran las características superficiales y a la vez que mejoran la impermeabilidad de las losas. Esto siempre y cuando el pavimento no presente una notable disminución de sus características estructurales para soportar las cargas, ya que en este caso es necesario eliminar el pavimento existente y extender una nueva capa asfáltica.
- Mantenimiento y renovación de las barreras de seguridad, ya que este tipo de estructura se encuentra sometido a las mismas condiciones de desgaste que en el resto del puente, por lo tanto, se encuentra afecto a la acción de los agentes naturales, tales como la oxidación.
- En aceras y canalizaciones: en estos elementos surge un problema de corrosión que afecta a los anclajes que unen las piezas a la estructura, además esto se ve incrementado por los movimientos diferenciales que sufre la estructura junto a los defectos de colocación inicial, que muchas veces se realiza de forma menos exigente que al resto de la estructura. Todos estos factores hacen que muchas veces sea necesario realizar reparaciones que representen un gasto mayor. Otro factor de la problemática que surge en este tipo de obras es que muchas veces son realizadas con hormigones de baja calidad, en comparación al que es empleado en el resto de la estructura, por lo que comparativamente las aceras presentan un mayor deterioro.

2.2.1.2.1. Reparaciones

Las reparaciones en un puente en un conjunto de acciones de mantención de la estructura cuya finalidad es la de preservar la vida útil del elemento en conservación, considerando las siguientes acciones: saneo o reposición del hormigón degradado, inyección de fisuras, limpieza de armaduras, recolocación o recalce de los apoyos, reparación o reposición de barreras de contención, reparación de aceras, trabajos sobres el pavimento, etc.

Las reparaciones de los puentes es una de las actividades que necesitan ser realizadas por personal con una capacidad técnica necesaria, ya que afecta estructuralmente la capacidad del puente, este personal especializado tiene la labor de llevar a cabo una serie de actividades tales como:

- Cambio de placas de apoyo.
- Reemplazo de cantoneras o juntas de dilatación.
- Alineamiento vertical y horizontal de los elementos de la superestructura.
- Tratamiento de las armaduras.
- Inyección de grietas en la infraestructura como en la superestructura.
- Entre otros.

Para mantener todas las condiciones de servicio de un puente es necesario enfocarse en todos los aspectos o daños que se pueden producir, dentro de este ámbito tenemos las acciones de reparación de daños producidos por golpes, producidas generalmente por accidentes automovilísticos que comprometen en su impacto de choque a la estructura, o también por colisiones sobre la estructura por vehículos que no cumplen las normas establecidas. Cuando se producen estos daños, son reparados, aunque estos no constituyan un peligro inmediato para el correcto funcionamiento de la estructura, este tipo de reparación generalmente consiste en la eliminación del hormigón deteriorado sustituyéndolo por un mortero de reparación.

2.2.1.2.2. Reforzamientos.

La utilización de refuerzos en las estructuras, es un hecho que es causado generalmente por motivos de tipo estructural, en el cual la estructura ha tenido una disminución de su capacidad resistente o bien se requiere aumentar la capacidad de carga actual de las estructuras por nuevas solicitaciones que demanda de los usuarios.

De igual forma existen otros motivos para la utilización de refuerzos, como es el paso natural del tiempo en aquellas estructuras que llevan un nivel de vida útil considerable, que hace necesaria la tarea de reforzamiento y sin dejar de nombrar la corrección de fallas que disminuyen la capacidad de carga del puente.

El tipo de reforzamiento que se utilice variará dependiendo del daño al cual se está enfrentando; es por esta razón que se distinguen dos tipos de procedimiento de reforzamiento, los cuales se dividen en pasivo y activo:

- **Procedimientos pasivos:** no presentan disminución de las características estructurales de los elementos.

- **Procedimientos activos:** presentan acciones y deformaciones que modifican los estados tensionales de la estructura, aumentando su comportamiento resistente.

Fuente: Santana Oyarzo, R. (2006). “Mantención de puentes de hormigón armado y mixto”. Tesis para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad Austral de Chile.

2.3. Operaciones de mantenimiento aplicado en cantoneras.

Conforme a lo establecido en el Manual de Carreteras, volumen 7, contiene la operación 7.307.3 en la cual hace referencia a única y exclusivamente al reemplazo de cantoneras metálicas o elastomérica (según se indique), sueltas o en mal estado, por una unidad nueva de iguales características a la puesta en sitio o de acuerdo a la materialidad y dimensiones establecidas en la lámina 7.307.3.A en caso de tratarse un sistema de placa deslizante.

2.3.1. Reemplazo de cantoneras.

Las juntas de dilatación son uno de los elementos que sin duda debiera contar con parámetros de conservación relevantes, ya que muchas veces estas son las que sufren el directo deterioro por parte de las acciones naturales, sin dejar de contar el desgaste que sufren por el hecho de estar en contacto directo con el tráfico diario, además de las molestias que causan a los usuarios cuando las juntas se encuentran en malas condiciones.

Como es sabido la tarea de las juntas es la de unir los espacios libres que existen entre las losas, debido a los efectos dinámicos que estas sufren. Para que una junta cumpla con los requisitos para los que fue diseñada debe cumplir las siguientes características:

- Durabilidad en los elementos que la componen
- Baja emisión de ruido al paso vehicular
- Transmisión de cargas.
- Estanqueidad, bloqueo al paso del agua.

El efecto del tráfico afecta directamente sobre las juntas mediante las sollicitaciones de impacto repetitivas, lo que produce un agotamiento por fatiga, a lo que hay que agregar la corrosión de los elementos metálicos que las acompañan. Es por estas razones que se deben llevar a cabo procesos de reparación o renovación de las juntas.

Santana Oyarzo (2006), en su estudio identifica 2 operaciones para el mantenimiento de cantoneras, las que define de la siguiente manera:

Reparación de juntas: Proceso que tiene por objetivo aumentar la vida útil de la junta, y se logra mediante la sustitución de los perfiles de goma, reparación del mortero lateral dañado, o bien, mediante una mantención de los elementos que se anexan a la junta.

Renovación de juntas: Esta actividad está enfocada en el reemplazo de la junta por una nueva, en que muchas veces esta labor es más compleja que la instalación inicial de la junta, ya que contempla la complejidad de realizar la extracción del elemento, lo cual, en Chile a falta de mantenimiento preventivo, pasan muchos años antes de una nueva intervención, por lo que hoy, al realizar esta operación es altamente probable encontrarse con sistemas antiguos de cantoneras en los que se puede considerar complejos, invasivos y destructivos trabajos para hacer el retiro del elemento existente.

Sin embargo, el Manual de Carreteras en su Volumen N°7 (edición 2022), dentro de las operaciones de mantenimiento para “Puentes y Estructuras”, en el caso de las cantoneras, refiere solamente al “Reemplazo de cantoneras”. Para lo cual dispone lo siguiente:

“Esta operación se refiere a la remoción de cantoneras metálicas sueltas o en mal estado, y su reemplazo por una unidad nueva, ya sea del mismo material y que se ajuste a las dimensiones y características que se muestran en la lámina 7.307.3.A (ver en figura 3), o del tipo elástico expansible, según se indique. La definición del tipo de cantonera de reemplazo dependerá de la importancia del camino, del nivel de tránsito y su proyección a futuro”.

Para tal efecto, la operación a realizar se describe con los siguientes procesos:

- Remoción de la cantonera dañada.
- Instalación de cantoneras metálicas o juntas elásticas expansibles.

2.3.1.1. Remoción de la cantonera dañada.

La cantonera por reemplazar deberá ser removida mediante procedimientos que aseguren que no se producirán daños a los hormigones adyacentes a la zona ni a las armaduras de los mismos. Para retirar la cantonera deberá formarse un cajón dentro del hormigón que la rodea, para lo cual el área por remover deberá primeramente marcarse, para luego cortarse con sierra por su perímetro, hasta una profundidad de 20 mm, salvo que existan armaduras de refuerzo a menor profundidad, en cuyo caso el corte deberá ser menos profundo para evitar dañarlas. El hormigón deberá demolerse hasta el nivel necesario para retirar la cantonera mediante herramientas manuales, pudiéndose también usar martillos neumáticos (de no más de 7 kg de peso), debiéndose dejar paredes verticales y un mínimo de irregularidades en el perímetro del corte.

Antes de dar por terminado el trabajo de remoción de la antigua cantonera, deberá comprobarse, golpeando suavemente con un martillo o por otro procedimiento, que tanto las paredes como el fondo del cajón se encuentran formados por hormigones firmes, limpios de aceites, grasas y otros contaminantes. La auscultación mediante un martillo o una barra de acero se basa en el tipo de sonido de la respuesta, si suena metálico significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones, si es apagado o suena a hueco, el hormigón se encuentra deteriorado.

2.3.1.2. Instalación de cantoneras metálicas o juntas elásticas expansibles.

Se establecen generalidades a considerar para la instalación de cantoneras metálicas o elastoméricas en caso de ejecutar el reemplazo del sistema de junta de dilatación. De acuerdo a la sección 7.307.0303 del Manual de Carreteras, se establece lo siguiente:

a) Instalación de cantoneras metálicas.

Las paredes y fondo del cajón deberán limpiarse mediante aire comprimido (asegurando que el aire no contenga aceites). Asimismo, deberá removerse, mediante escobillado, todo el óxido de las enfierraduras a la vista.

La cantonera se instalará cuidadosamente, perfectamente alineada, respetando las cotas y pendientes que correspondan en cada punto, y con los correspondientes anclajes soldados previamente para evitar deformaciones. Deberán quedar aseguradas de manera de impedir movimientos o desplazamientos durante el hormigonado.

El puente de adherencia se aplicará a las paredes y fondo de la caja mediante brocha, rodillo u otros elementos similares. El hormigón de relleno deberá vaciarse mientras el puente de adherencia se encuentre fresco o pegajoso al tacto (normalmente antes de 10 horas a 20°C).

El hormigón deberá compactarse mediante vibradores de inmersión o de pared, pudiéndose utilizar varillas de acero sólo donde éstos no pueden entrar. El curado deberá realizarse mediante una membrana de curado o manteniendo humedad constante, por un período de 7 días.

Se rechazará el trabajo si la nueva cantonera presenta desniveles superiores a 5 mm respecto del pavimento que la rodea o se encuentra suelta o desnivelada.

b) Instalación de juntas elásticas expansibles.

Las paredes y fondo del cajón deberán limpiarse mediante aire comprimido (asegurando que el aire no contenga aceites). Asimismo, deberá removerse, mediante escobillado, todo el óxido de las enfierraduras a la vista.

Los espacios dejados por la remoción de la antigua cantonera se deberán rellenar con el hormigón especificado, o con un mortero de transición cuando el espesor sea pequeño. Se aplicará previamente un puente de adherencia a las paredes y al fondo de la caja, mediante brocha, rodillo u otros elementos similares. El hormigón de relleno deberá vaciarse mientras el puente de adherencia se encuentre fresco o pegajoso al tacto. Se dejará una junta de dilatación del ancho necesario para instalar el perfil elastomérico preformado. Para este trabajo son aplicables todas las condiciones y precauciones señaladas para el hormigonado de relleno de cantoneras metálicas, teniendo en consideración las especificaciones técnicas del fabricante de la junta.

Una vez que el hormigón o mortero de reparación haya endurecido, pero no antes de 72 horas, se procederá a instalar el perfil preformado. La colocación del perfil deberá ajustarse estrictamente a las especificaciones técnicas del fabricante.

Capítulo 3: CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CANTONERAS DE PUENTES QUE SE USAN EN CHILE.

En este capítulo se identificarán los diferentes sistemas de cantoneras más empleados en la actualidad, junto a ello, se explicará sus principales características y métodos de instalación.

Inicialmente se pueden clasificar según su materialidad identificando las siguientes:

- Metálicas.
- Elastoméricas.

Los primeros sistemas de cantoneras fueron metálicas, de ello deriva su nombre ya que el elemento dispuesto en la zona de junta de dilatación, su principal función era proteger los cantos vivos de los tableros frente a los golpes que reciben a causa del tránsito vehicular.

Posteriormente, en solución a uno de los mayores problemas que presentan los sistemas metálicos, específicamente su debilidad frente al óxido y la dificultad en su instalación, la evolución de la tecnología desarrolló sistemas para juntas en base a materiales elastoméricos. Las cantoneras elastoméricas además de vencer en gran parte los problemas de corrosión, brinda un sello de protección generando impermeabilidad al ingreso de agua por la zona de juntas de dilatación, también, impidiendo el ingreso y caída de escombros al espacio de separación entre tableros, pudiendo quedar atrapados allí afectando la libertad en los movimientos que se han considerado para las estructuras de losas, cuando estas, apuntan a juntarse.

Más adelante se desarrollaron sistemas de cantoneras que combinaron ambas materialidades en un mismo elemento, es decir, piezas metálicas que aportan rigidez y resistencia; trabajando en conjunto a materiales elastoméricos que las protege del óxido, brinda elasticidad y un mejor sello, formando entre ambos un elemento compuesto.

Las principales funciones para los sistemas de cantoneras elastoméricas son las siguientes:

- Asegurar que los movimientos totales del puente proyectados sobre las juntas, se cumplan sin golpear o deteriorar los elementos estructurales.
- Asegurar la continuidad de la superficie de rodado del puente, para dar mayor confort y seguridad a los usuarios vehiculares, motos, bicicletas, entre otros.
- Ser impermeables y evacuar las aguas sobre el tablero en forma rápida y segura, evitando que estas penetren a través del espacio de junta y sean depositadas sobre las mesas de apoyo.
- No deben ser fuente de ruidos, impactos y vibraciones al soportar las cargas del tráfico.

Existe consenso entre especialistas e ingenieros de puentes, según se observa en las publicaciones de la NCHRP y el A.C.I., que las juntas de dilatación se pueden dividir en las siguientes categorías (Ortúzar, 2007):

Tabla 3.1: Clasificación de sistemas de cantoneras.

TIPOS DE SISTEMAS DE JUNTAS		
Abiertas	Cerradas	
	Moldeados en Situ	Preformados
Armada o Guarda Canto Placa Deslizante Placa Dentadas	Asfalto con Agregado Polimérico Termo Endurecidos, Curado Químico	Sello en Franja o Membrana Sello en Compresión Sello de Neopreno Inflable Sello Elastomérico Reforzado Sistemas Modulares o de Riel

Fuente: Ortuzar, 2007.

Por lo cual, este hallazgo en la literatura, presentado en la tabla 3.1, resulta ser el primer acercamiento a una clasificación clara de los sistemas de cantoneras que se ha identificado su empleo en puentes de Chile.

Definiendo el espacio de estudio a considerar, se ha determinado estudiar los puentes carreteros que se encuentran dentro de la región de Valparaíso, cuyas características para su selección se fijaron discriminando y solo considerando a puentes que su mantenimiento se encuentre a tuición del MOP. Otro factor a considerar, es que, el MOP a través de su Departamento de Estructuras de la Dirección de Vialidad, en julio del año 2010, se publicó un documento titulado: “Nuevos criterios sísmicos para el diseño de puentes en Chile”. Este documento, a raíz de los estudios y hallazgos realizados posterior al terremoto del 27 de febrero de 2010, establece que, para el diseño de nuevos puentes, considerar dar preferencia al diseño de puentes integrales cuando se proyecten con un máximo de 2 tramos y vano menor a 30 metros de longitud.

Considerando lo mencionado en el párrafo anterior, es que se ha realizado una selección aleatoria de los puentes a estudiar dentro de la región de Valparaíso, y para ello, se ha considerado lo hallado en la literatura tomando el listado que propone Nicole Díaz (2018) en su Tesis: “Priorización de puentes de la región de Valparaíso basado en inspección visual”, el cual, está compuesto de 53 puentes que ella pudo constatar por información obtenida en el Departamento de Puentes, estas estructuras pertenecen a la región de Valparaíso, son puentes con longitudes mayores a 30 metros y su mantenimiento se encuentra a tuición del MOP.

Sin embargo, del listado de 53 puentes, Nicole Díaz por dificultades de alcance pudo evaluar a 46 puentes. Para este estudio, pese a las condiciones de pandemia y las limitaciones

que ello generó en la libre movilidad entre provincias y comunas, se pudo acceder a realizar inspección visual a 49 puentes de la lista compartida por la autora de la tesis señalada.

Para efecto del presente estudio, el listado de puentes a los cuales se realizó inspección visual, son los presentados en la tabla 3.2:

Tabla 3.2: Lista de puentes inspeccionados.

Nº	ROL RUTA	PROVINCIA	NOMBRE DEL PUENTE
1	E-841	Los Andes	Mina Caracoles
2	E-89	Los Andes	Pocuro
3	E-767	Los Andes	Río Blanco 1
4	E-767	Los Andes	Río Blanco 2
5	F-190	Marga Marga	Valle Alegre
6	F-190	Marga Marga	Colmo
7	F-660	Marga Marga	Pelumpen
8	F-620	Marga Marga	Lo Gamboa
9	F-62	Marga Marga	Limache
10	F-10-G	Marga Marga	Lo Castro
11	E-35	Petorca	Senador Alfredo Cerda Jaraquemada
12	E-37-D	Petorca	Pedegua
13	E-375	Petorca	Los Olmos
14	E-35	Petorca	La Higuera
15	E-285	Petorca	Illalolén
16	E-46	Petorca	Catapilco
17	E-253	Petorca	Petorca
18	F-366	Quillota	Lo Rojas
19	F-360	Quillota	Boco
20	F-121	Quillota	Carretón
21	F-62	Quillota	La Calera
22	F-62	Quillota	19 de junio
23	F-62	Quillota	San Pedro
24	F-300	Quillota	Rabuco
25	Ruta 66	San Antonio	El yugo 2
26	G-98-F	San Antonio	El Yugo 1
27	G-98-F	San Antonio	San Sebastián

Nº	ROL RUTA	PROVINCIA	NOMBRE DEL PUENTE
28	G-98-F	San Antonio	San Gerónimo
29	G-98-F	San Antonio	Seminario
30	G-98-F	San Antonio	Cordova
31	Ruta 66	San Antonio	Lo Gallardo
32	G-974	San Antonio	Lo Abarca
33	E-85	San Felipe	Tres esquinas
34	E-85	San Felipe	David García Este
35	E-85	San Felipe	David García Oeste
36	E-525	San Felipe	Lo Vicuña
37	E-65	San Felipe	Chagres
38	E-619	San Felipe	Don Bosco
39	E-539	San Felipe	21 de mayo
40	F-30-E	Valparaíso	Pasarela la Laguna
41	F-30-E	Valparaíso	Ventanas
42	F-30-E	Valparaíso	Santa Julia
43	F-30-E	Valparaíso	Las Gaviotas
44	F-30-E	Valparaíso	Concón
45	F-98-G	Valparaíso	El Manzano
46	F-730	Valparaíso	Los Azules
47	F-50	Valparaíso	Marga Marga
48	F-50	Valparaíso	Lo Orozco
49	F-840	Valparaíso	La Draga

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A continuación, se presenta una georreferenciación de la ubicación aproximada de los puentes definidos en la tabla anterior, espacio muestral sobre el cual se realizó la inspección visual identificando los sistemas de cantoneras más utilizados.



Figura 3.1: Georreferenciación de puentes inspeccionados en la región de Valparaíso.
Fuente: Google Maps, 2021.

Conforme a los resultados obtenidos de la inspección, se han identificados los siguientes tipos de sistemas de juntas:

Tabla 3.3: Identificación tipo de junta correspondiente a cada puente inspeccionado.

NOMBRE DEL PUENTE	TIPO DE JUNTA
Mina Caracoles	Abierta - Sin guarda canto
Pocuro	Cerrada - Elastómica – Reforzada
Río Blanco 1	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Río Blanco 2	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Valle Alegre	Cerrada - Elastómica – EPDM inflable (Jeene)
Colmo	Abierta - Metálica – Placa dentada
Pelumpén	Cerrada - Elastómica - Reforzada
Lo Gamboa	Cerrada - Elastómica - EPDM Inflable (Jeene)

NOMBRE DEL PUENTE	TIPO DE JUNTA
Limache	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Lo Castro	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
Senador Alfredo Cerda Jaraquemada	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Pedegua	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Los Olmos	Abierta - Metálica - Con guarda canto
La Higuera	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Illalolén	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Catapilco	Juntas tapadas por asfalto
Petorca	Cerrada - Elastomérica - a compresión de sección abierta
Lo Rojas	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
Boco	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Carretón	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Calera	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
19 de junio	Abierta - Metálica - Placa deslizante
San Pedro	Abierta - Metálica - Placa dentada
Rabuco	Juntas tapadas por asfalto
El Yugo 2	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
El Yugo 1	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
San Sebastián	Abierta - Metálica - Placa deslizante
San Gerónimo	Abierta - Metálica - Con guarda canto
Seminario	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Cordova	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Lo Gallardo	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Lo Abarca	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Tres Esquinas	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
David García Este	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
David García Oeste	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Lo Vicuña	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Chagres	Cerrada - Elastomérica - a compresión de sección cerrada
Don Bosco	Abierta - Metálica - Placa deslizante
21 de mayo	Cerrada - Elastomérica - a compresión de sección cerrada
Pasarela La Laguna	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Ventanas	Juntas tapadas por asfalto
Santa Julia	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Las Gaviotas	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
Concón	Cerrada - Elastomérica - EPDM inflable (Jeene)
El Manzano	Abierta - Metálica - Placa deslizante
Los Azules	Abierta - Metálica - Placa deslizante

NOMBRE DEL PUENTE	TIPO DE JUNTA
Marga Marga	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
Lo Orozco	Cerrada - Elastomérica - Reforzada
La Draga	Juntas tapadas por asfalto

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo a lo observado en la tabla 3.3 se puede concluir que, habiendo finalizado la etapa de inspección visual se pueden identificar los siguientes tipos de sistemas de cantoneras que contemplará este estudio, clasificados según la tabla 3.4:

Tabla 3.4: Clasificación de cantoneras identificadas en puentes inspeccionados.

CLASIFICACIÓN DE CANTONERAS IDENTIFICADAS EN PUENTES INSPECCIONADOS	
Cantoneras de juntas abiertas	Cantoneras de juntas cerradas
Metálicas	Elastoméricas preformadas
Guarda Canto Placa Deslizante Placa Dentada	Elastomérica a compresión de sección abierta Elastomérica a compresión de sección cerrada Elastomérica de EPDM inflable (Jeene) Elastomérica reforzada

Fuente: Elaboración propia, 2021.

También, se puede definir que, para el espacio de estudio establecido, los sistemas de cantoneras predominantes resultan ser los de tipo placa deslizante, elastomérica de EPDM inflable (Jeene) y elastomérica reforzada, lo que se representa en la figura 3.2:

Tipo de junta	N° Puentes
Sin guarda canto	1
Con guarda canto	2
Placa deslizante	14
Placa dentada	2
Comp. Abierta	1
Comp. Cerrada	2
Jeene	15
Elast. Reforzada	8
Juntas tapadas	4
TOTAL	49

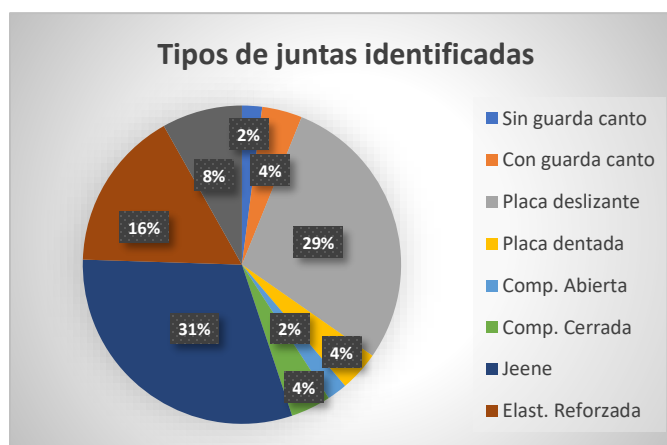


Figura 3.2: Identificación tipos de juntas encontradas. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Sin embargo, se descartan de ser consideradas en este estudio los casos de puentes que se ha observado con juntas tapadas y los del tipo sin guarda canto, ya que no representan a un sistema de protección definido a los cantos de los tableros, resultando la siguiente distribución según la figura 3.3:

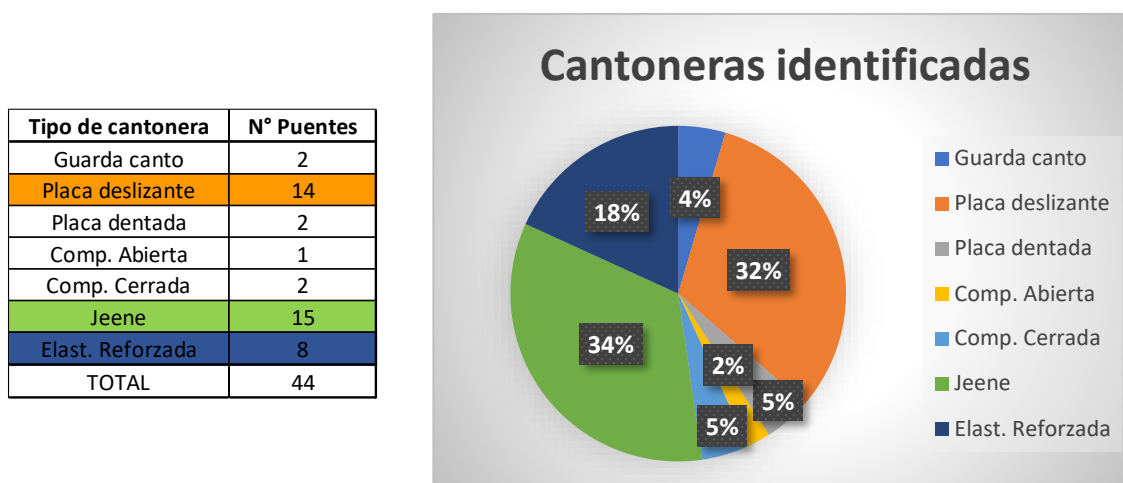


Figura 3.3: Tipos de cantoneras identificadas. Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1. Cantoneras de juntas abiertas:

Los tipos más comunes de cantoneras en juntas abiertas son: la de guarda cantos, placa deslizante y placa dentada. Se clasifican en cuanto a su materialidad como cantoneras metálicas. Estos fueron los primeros tipos de cantoneras utilizadas en puentes modernos, pero en los últimos años han perdido preferencia, debido a que estos sistemas permiten el ingreso de agua y escombros a la cavidad en el encuentro entre tableros, pudiendo afectar a estos mismos y a elementos estructurales en las mesas de apoyo. Aun así, es posible hallarlas en numerosos puentes en Chile, tanto en estructuras viejas como nuevas. La elección de un sistema u otro radica mayormente en la luz a salvar y las cargas de tráfico a soportar en la vía (Ortúzar, 2007).

Un tipo de solución teórica al problema del paso de agua, es instalar sistemas de drenaje bajo la separación entre tableros, lo cual, consiste en una membrana no corrosiva que generalmente es de neopreno, se instala y se fija al hormigón de ambos tableros por su cara inferior a lo largo de toda la junta de dilatación con una pendiente uniforme, logrando así, proteger los elementos situados a nivel de infraestructura del puente. Pero, en lo que respecta a la investigación, no se encuentra evidencia de haber sido empleada esta solución en los puentes inspeccionados para este estudio, para ninguno de los tres sistemas de cantoneras metálicas.

Su sistema constructivo no resulta ser un facilitador para procesos de reemplazo de cantoneras. El mantenimiento basado en el reemplazo de este sistema implica un proceso constructivo dificultoso, destructivo, costoso en recursos de tiempo de ejecución y recursos económicos.

3.1.1. Cantonera de guarda canto:

La cantonera de guarda cantos, se compone principalmente de un perfil de acero de sección angular ubicado en el borde superior de ambos tableros en las juntas de dilatación, es anclado a la losa mediante unidades de espárragos (pletinas) soldados en pares equidistantes entre sí y, cada par considera una unidad soldada al ala superior del perfil ángulo y el otro en el ala opuesta. Como la mayoría de las juntas abiertas, no impiden el paso del agua ni de los escombros. Esta junta no entrega una superficie de transición entre los bordes adyacentes de la losa, por lo que deben ser usadas en puentes de espacios cortos de separación entre losas, que permiten movimientos térmicos menores que 25 mm (NCHRP, 2003). Un detalle y representación típica es mostrada en las figuras 3.4 y 3.5.

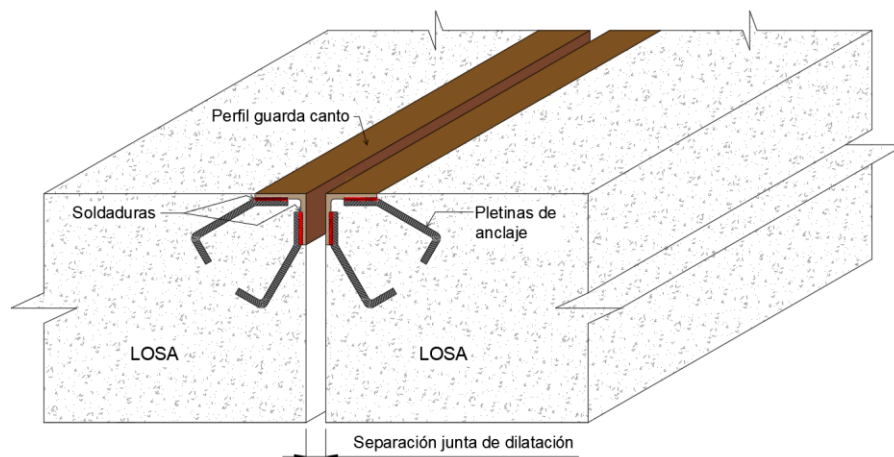


Figura 3.4: Detalle constructivo de cantonera de guarda canto.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Figura 3.5: Cantonera de guarda canto en puente Los Olmos.
Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.1.2. Cantonera de placa deslizante:

Como base de anclaje y medio de protección a los cantos del tablero, se compone de las mismas piezas y configuración de acuerdo a lo descrito en cantoneras de guarda canto, pero, con la diferencia de que a nivel superior, posee una placa de acero que es soldada a uno de los perfiles guarda canto que en su diseño, considera cubrir todo el ancho de separación de la junta manteniéndose siempre apoyada sobre el guarda canto opuesto, inclusive, en el momento de máxima apertura de la junta de dilatación. Respecto de su medio de fijación, por su parte posterior es mediante un cordón de soldadura continuo tipo filete y desde la parte superior de la placa, considera perforaciones de dimensiones 20x50 mm según el Manual de Carreteras, volumen 7, sección 7.307.3.a, sección para ejecutar soldaduras de unión de tipo tapón. Adicionalmente, sobre el guarda canto opuesto al que sostiene la placa deslizante, se fija una pletina de tope mediante cordones de soldadura continua tipo filete por ambos lados de la pletina, la cual, establece el límite del espacio de deslizamiento de la placa. Finalmente, sobre ambos encuentros con el pavimento aledaño, se aplica una franja de sello bituminoso a lo largo de toda la extensión de la cantonera. Las juntas con placas deslizantes son utilizadas para movimientos de 25 mm a 75 mm (NCHRP, 2003). Este sistema no es impermeable, pero si dificulta que los escombros traspasen por la abertura.

A continuación, se muestra un detalle constructivo típico y representación física en las figuras 3.6 y 3.7.

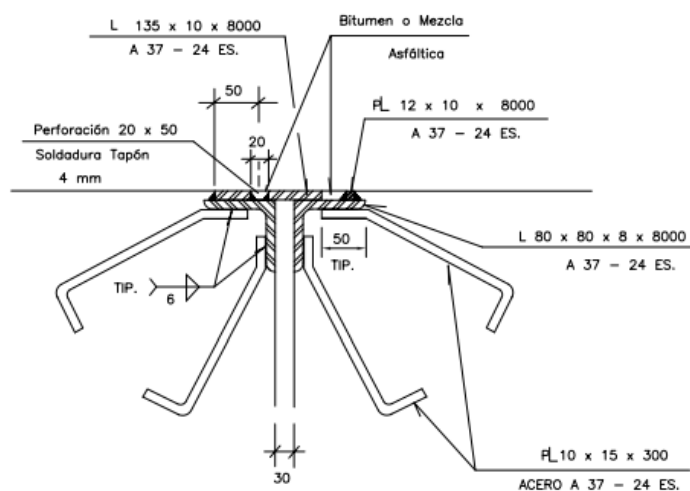


Figura 3.6: Detalle constructivo de cantonera de placa deslizante.
Fuente: Manual de Carreteras, volumen 7, lámina 7.307.3.a, edición 2022.



Figura 3.7: Cantonera de placa deslizante en puente Pasarela La Laguna.
Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.1.3. Cantonera de placas dentadas:

Este sistema de junta puede salvar movimientos de hasta 100 mm, se encuentra provista por dos placas dentadas, una a cada lado de la abertura; éstas se entrelazan para permitir el movimiento cubriendo el espacio de diseño entre ellas. Al igual que en el sistema de placa deslizante, se anclan a la losa a través de un sistema similar de perfiles guarda canto. En este

caso, cada placa dentada va fijada mediante el mismo tipo de soldadura de filete y de tapón empleado en el sistema de placa deslizante, respectivamente a cada perfil guarda canto. Finalmente, al igual que en cantoneras de placa deslizante, se debe sellar mediante una franja de sello bituminoso en ambos encuentros de las cantoneras con el pavimento aledaño. También, se puede instalar una membrana de drenaje para coleccionar el agua y agentes contaminantes que ingresan a través del espacio de junta. A continuación, se muestra un detalle constructivo típico y representación física en las figuras 3.8 y 3.9.

Hay variadas opiniones con respecto a este tipo de sistemas, como con todas las otras juntas abiertas, los costos iniciales son en general, son menores que los costos para las juntas cerradas. Sin embargo, los costos aplicados posteriormente al mantenimiento para estos sistemas no muestran lo mismo (NCHRP, 2003).

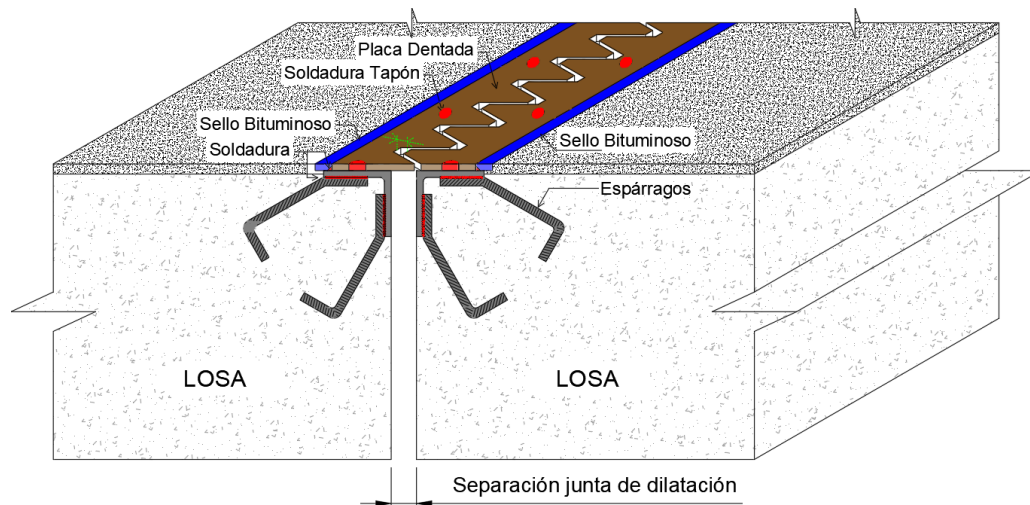


Figura 3.8: Detalle constructivo de cantonera de placa dentada.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Figura 3.9: Cantonera de placa dentada en puente Colmo.
Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.2. Cantoneras de juntas cerradas:

Los sistemas de juntas cerradas se comenzaron a aplicar en los años 1930 y con el paso del tiempo comenzaron a evolucionar, esto, gracias a mejoras en el diseño, métodos de instalación más refinados y al desarrollo tecnológico de distintos materiales, como medios de anclaje más resistentes y mejores productos para sellar (Ortúzar, 2007). Pero la cualidad principal que agrupa a todas las opciones de cantoneras cerradas, es la capacidad de crear un sello elastomérico sobre las juntas de dilatación, capaz de proteger los cantos de los tableros y otorgar impermeabilidad a la junta de dilatación para impedir que se dañen elementos estructurales fundamentales de la subestructura, debido a esto último, es que también se le denomina a este tipo de cantoneras como sellos elastoméricos.

Esta clasificación se conforma por sistemas de cantoneras fabricadas a base de materiales elastoméricos y sistemas compuestos que combinan materiales rígidos (acero) y elastoméricos.

3.2.1. Cantoneras con sellos a compresión de sección abierta:

Los sellos en compresión de sección transversal abierta, están compuestos de neopreno y formados por una sección continua de forma rectangular, estructurados en su interior de forma reticular, lo que permite que el sello pueda ser comprimido y a la vez no dejar de ejercer presión para recuperar su forma en estado de reposo, lo que provee estabilidad y presión a las paredes de la junta durante los movimientos, también, asegura la impermeabilidad del sello. Esto último, establece su condición de funcionamiento ya que, para la elección del ancho del perfil a utilizar, se debe considerar que en la máxima apertura que pueda alcanzar la junta entre tableros, el dispositivo siempre esté comprimido, es decir, que nunca sea mayor al ancho del perfil en estado de reposo. Este tipo de sistemas tiene un rango de movimiento de 13 a 60 mm. (NCHRP, 2003). A fin de comprender mejor la composición de este sistema, se presenta su detalle constructivo en la figura N° 3.10.

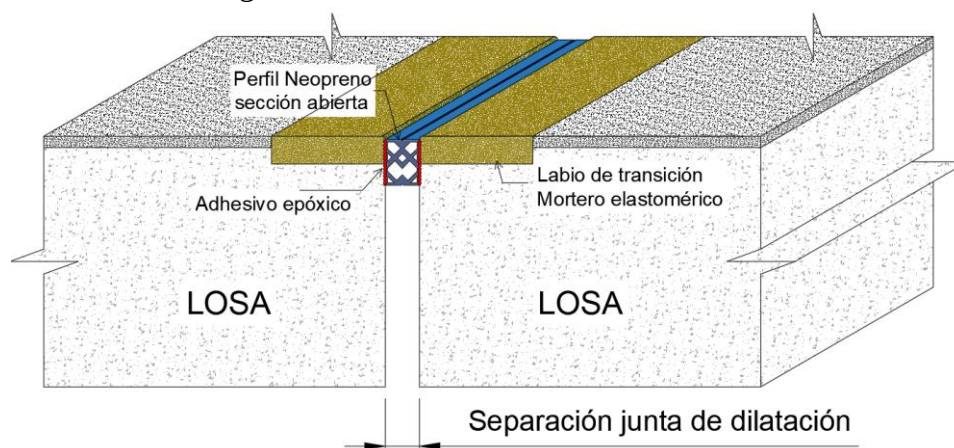


Figura 3.10: Detalle constructivo de cantonera a compresión de sección abierta.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para su instalación, el perfil es comprimido e insertado dentro de la cavidad entre tableros usando un adhesivo que sirve también como lubricante para facilitar su colocación y para adherirlo en su lugar a las paredes de ambos tableros. Se debe considerar en su colocación, respetar la altura mínima bajo la cota de calzada que especifica el fabricante. Los empalmes deberían ser evitados, comúnmente se colocan barras de soporte en el fondo para que el perfil no se desplace a través de la junta y mantenga su altura (Ortúzar, 2007). Los cantos del tablero son fortalecidos generalmente con bordes de transición en mortero elastomérico, el cual, los protege disipando la energía del impacto vehicular. La abertura debe estar construida apropiadamente con un ancho y lados verticales uniformes y ningún borde defectuoso.

Para facilitar la instalación de los sellos en compresión deben ser instalados a temperaturas bajas, ya que las juntas se encuentran con una mayor apertura. A continuación, en la figura 3.11 se presenta una secuencia fotográfica que representa de manera resumida el proceso constructivo e instalación que es aplicable tanto para sellos a compresión de sección abierta como de sección cerrada. En la figura 3.12 un caso de aplicación de este sistema de cantonera en uno de los puentes inspeccionados para este estudio.

1.- Aplicación de mortero elastomérico, previo corte de cajones y preparación de superficies.

2.- Retiro de moldaje.

3.- Aplicar adhesivo lubricante sobre caras del perfil y tableros, e introducir perfil a presión.

4.- Instalación finalizada.



Figura 3.11: Proceso constructivo e instalación de sellos a compresión.

Fuente: Empresa chilena TECNOAV S.A.



Figura 3.12: sello a compresión sección abierta en puente Petorca.

Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.2.2. Cantoneras con sellos en compresión de sección cerrada:

También, existe la alternativa con una sección transversal cerrada, con un rango de movimiento similar al sello de sección abierta. El material ocupado es un polietileno de baja densidad parecido a una espuma, es de celda cerrada y expandido por nitrógeno. Comparte condiciones similares de instalación y de trabajo a las ya mencionadas para el sello de sección abierta. A comparación del sello de sección abierta, este requiere de menos esfuerzo para ejecutar el proceso de introducirlo a compresión dentro de la cavidad entre tableros. Su durabilidad se ve altamente afectada cuando caen escombros no compresibles sobre el sello, es susceptible a sufrir cortes con mayor facilidad a comparación del sello de sección abierta y a cualquiera del resto de las soluciones en sellos elastoméricos. En la figura 3.13 se presenta un detalle constructivo para el sello a compresión de sección cerrada y en la figura 3.14 un caso de aplicación de este sistema de cantonera en uno de los puentes inspeccionados para este estudio.

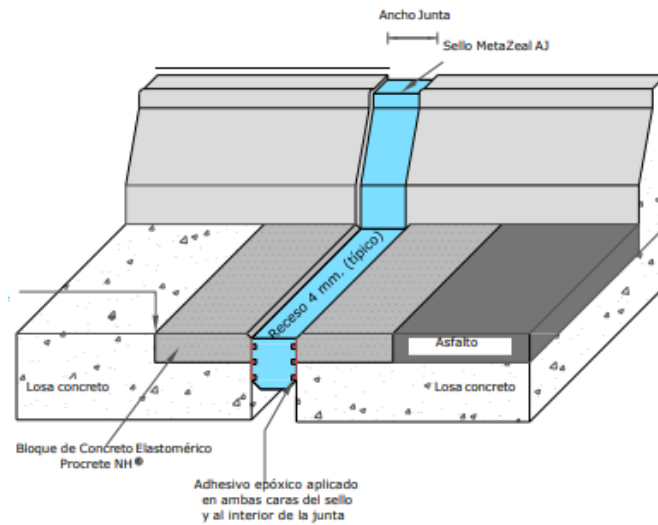


Figura 3.13: Detalle constructivo de cantonera a compresión de sección cerrada.
Fuente: Empresa chilena TECNOING Ltda., 2021.



Figura 3.14: sello a compresión sección cerrada en puente Chagres.
Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.2.3. Cantoneras de EPDM inflable (Jeene):

Son sellos de EPDM preformados, de rápida instalación y limpieza, capaz de soportar ciclos térmicos y cargas dinámicas. Son extruidos de neopreno (policloropreno) compuesto que satisface los requerimientos de las especificaciones ASTM D3542 para sellos elastoméricos preformados de policloropreno para juntas en puentes.

El principal medio de sujeción de este perfil elastomérico, es a través de una adecuada consolidación a un adhesivo epóxico de dos componentes que se aplica en ambas caras de los

tableros y sobre los costados del perfil diseñados para generar esta unión (acanaladuras). Está diseñado para que, en su proceso de instalación, sea presurizado durante el tiempo necesario de curado del adhesivo. Este período dura al menos 24 horas (dependiendo de la temperatura ambiente y humedad relativa) y pasado este tiempo se puede permitir la salida del aire. Existen perfiles que acomodan movimientos desde los 13 mm a 100 mm (NCHRP, 2003). En la figura 3.15 se presenta un detalle constructivo de los elementos que componen a este sistema de cantonera.

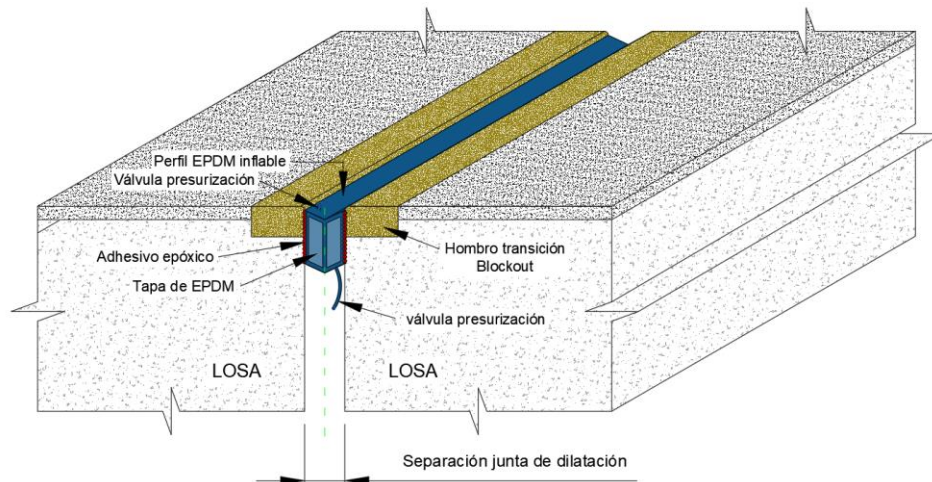


Figura 3.15: Detalle constructivo de cantonera de EPDM inflable.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con esta solución, es posible lograr un sistema hermético e impermeable. Para su óptimo desempeño los bordes de la junta deben estar limpios, secos y sin irregularidades en sus superficies, es conveniente instalar la junta con una temperatura ambiente de 20° C.

Para juntas donde existe un tráfico intenso y de gran carga, es necesario construir bordes de transición en mortero elastomérico para disipar la energía de impacto y así evitar daños en los bordes del tablero tales como: fisuras, grietas y desmoronamiento. En la figura 3.16 un caso de aplicación de este sistema de cantonera en uno de los puentes inspeccionados para este estudio.



Figura 3.16: Cantonera de EPDM inflable en puente Illalolén.
Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

3.2.4. Cantonera elastomérica reforzada:

Están conformadas de un material elastomérico preformado de neopreno (policloropreno) y reforzado en su interior con placas de acero que le otorgan rigidez y resistencia necesaria, tanto para, su poder de anclaje como para transmitir las cargas de tráfico evitando la deformación en las áreas del perfil que están diseñadas para mantener la continuidad de la calzada sobre la luz que cubren en la separación entre tableros. Están diseñadas para otorgar elasticidad e impermeabilidad a la junta de dilatación. Poseen una gran resistencia a los agentes externos, manteniendo su capacidad elástica, resistencia al desgaste, abrasión y temperaturas. En la figura 3.17 se presenta un detalle constructivo de los elementos que componen a este sistema de cantonera.

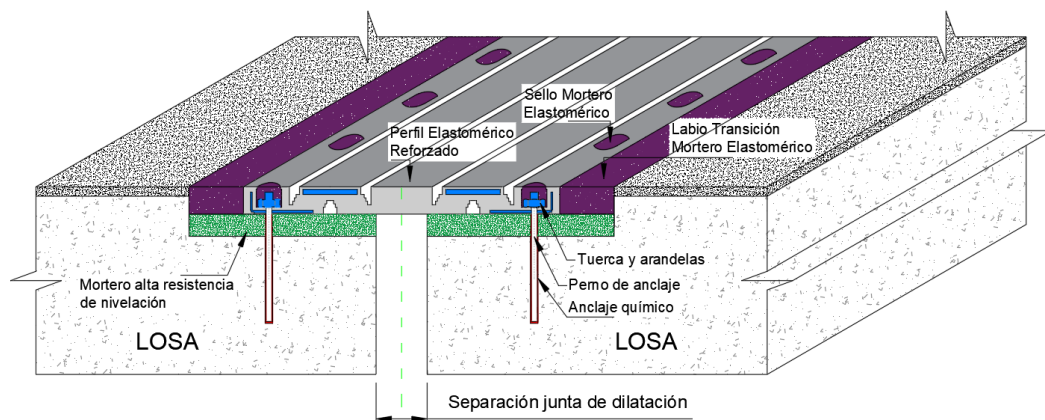


Figura 3.17: Detalle constructivo de cantonera elastomérica reforzada.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Respecto de su instalación, es colocado sobre la apertura de la junta y anclado rígidamente en ambos lados mediante un conjunto de pernos de anclaje que se proyectan equidistantes a cada lado (su separación está definida de fábrica de acuerdo al diseño de cada módulo a instalar), fijados mediante un sistema de anclaje químico a la losa, para posteriormente ser apretados por golillas y tuercas autoblocantes de acero inoxidable hasta alcanzar el torque requerido. Cabe mencionar que, previo a la instalación del módulo, requiere de ejecutar el corte de un cajón en ambos bordes de los tableros, acorde a la anchura y altura del módulo, considerando también, el espacio suficiente para las dimensiones requeridas del labio de transición. También, deberá ser nivelada base de apoyo del módulo elastomérico aplicando una capa de mortero de alta resistencia, calculando que la superficie del módulo quede a nivel de la rasante de la calzada. Ver detalle constructivo en figura 3.17.

Existen varios modelos de este tipo de sello, ellos pueden abarcar un rango de movimiento desde los 60 mm hasta los 1.600 mm. Este sistema, presenta modelos para satisfacer todo tipo de condiciones de servicio, por lo cual, es posible de encontrar en todo tipo de caminos y carreteras. En la figura 3.18 un caso de aplicación de este sistema de cantonera en uno de los puentes inspeccionados para este estudio.



Figura 3.18: Cantonera elastomérica reforzada en puente Tres Esquinas.

Fuente: Propia del autor en inspecciones realizadas, 2021.

Capítulo 4: IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS MÁS FRECUENTES QUE PRESENTAN LAS CANTONERAS EN PUENTES.

En el presente capítulo se abordará el estudio de las fallas que pueden presentar todos los sistemas de cantoneras identificados en la figura 3.3 del capítulo anterior en base a la información encontrada en la literatura y las detectadas mediante las inspecciones realizadas en cada uno de los puentes mencionados, iniciando con una identificación e ilustración clara en explicación de cada una de las observaciones que se pudo registrar, con el fin de introducir y compartir al lector esta información base respecto de los primeros resultados hallados respecto de fallas o malas prácticas empleadas en estos 7 sistemas de cantoneras inspeccionadas.

Con el fin de identificar las fallas que resultaron ser las más frecuentes, se definirá en base a los sistemas de cantoneras que resultaron ser las más frecuentemente utilizadas, en vista de que aportan mayor información respecto de la repetitividad de una falla dentro de un sistema en común. En base a ello, es que se realizará un análisis de las fallas más frecuentes, complementado también, identificando su incidencia en afectar la seguridad de operación en puentes y la durabilidad de elementos estructurales en puentes.

4.1. Identificación de fallas según tipo de cantonera en base a la literatura.

La falla de una cantonera puede crear un peligro serio para el tráfico, es por eso que se recomienda que las juntas sean regularmente inspeccionadas para asegurar que continúan funcionando de acuerdo con todos los requisitos de las normativas AASHTO y ACI (Ortúzar, 2007). Normas que regulan el diseño de las cantoneras, y en Chile, son modelos de referencia bajo los cuales se rige la Dirección de Vialidad.

Los sistemas de cantoneras a lo largo de su vida útil se encuentran muy expuestas a deterioro por diversos factores que actúan debilitando directamente al elemento de junta, como también, a elementos adyacentes a ellas. Los factores que inciden en su desgaste y deterioro principalmente se encuentran relacionados con los efectos de las cargas de tráfico vehicular, como también, consecuencias a falta de mantenimiento y/o errores en los trabajos de instalación.

Existen diversas fallas que se presentan y son características de acuerdo al tipo de sistema de cantoneras. Debilidades o deficiencias propias del sistema ante el efecto del medio

al que se exponen, el cual, a consecuencia de las cargas de tráfico vehicular, estas debilidades presentan escenarios de vulnerabilidad para el deterioro del material de junta, medios de anclaje, sección de transición entre la carpeta de rodado y la cantonera, entre otros.

A continuación, en base a los hallazgos en la literatura, se darán a conocer las primeras identificaciones en cuanto a las principales fallas que presenta cada sistema de cantonera, lo cual, permitió un avance para vislumbrar e introducir de forma inicial en los primeros focos de atención para las instancias de inspección e identificación de fallas en dichos elementos.

4.1.1. Cantoneras de juntas abiertas:

Una de las fallas más comunes en estos sistemas se debe a problemas con la evacuación de las aguas. En teoría, el diseño ideal contempla una membrana flexible de materiales no corrosivos como fibra de vidrio o neopreno, anclada por la cara inferior de los tableros y cubriendo toda la proyección de la junta de dilatación en ancho y largo funcionando como una canal de desagüe con pendiente uniforme. Su propósito es de recolectar las aguas que provienen desde el tablero a través de las cantoneras y evitar su llegada a las mesas de apoyo, lugar donde la acumulación de agua y escombros corroerá y afectará las piezas estructurales de soporte y anclaje de la superestructura en puentes. El problema o deficiencia de esto radica en la acumulación de escombros sobre la canal de desagüe, impidiendo la libre evacuación de las aguas, haciendo que estas se acumulen, rebalse y derrame agua a través del espacio de junta hacia las estructuras de soporte del puente.

4.1.1.1. Cantonera de guarda canto.

Este sistema de cantoneras suele acumular desechos o escombros que son arrastrados hasta allí mayormente por el agua de lluvia y también el tráfico vehicular, van quedando atrapados en el espacio de junta y acumulándose hasta tapar esta sección en su totalidad. Lo cual, es perjudicial ya que impide el libre movimiento de diseño para la estructura, provocando sobre esfuerzos y pudiendo afectar a estas zonas de encuentro entre tableros. Así también, la acumulación de desechos o escombros, con el pasar de los vehículos afectará erosionando el pavimento, deteriorando el hormigón en la zona de encuentro con el perfil angular que protege el canto vivo del tablero.

Resulta difícil proteger el metal expuesto a la corrosión y lograr que el hormigón quede bien consolidado bajo el perfil. Con el paso del tiempo el ángulo se puede desencajar debido a soportes inadecuados o fatiga de los elementos de anclaje. El metal suelto puede convertirse en un peligro para el tráfico (Ortúzar, 2007).

4.1.1.2. Cantonera de placa deslizante.

Cantoneras con placas deslizantes han sido encontradas insatisfactorias en autopistas con una cantidad significativa de tráfico pesado. En la mayoría de los lugares este tipo de junta ha sido reemplazada por otro tipo de sistema (NCHRP, 2003).

Es común ver que las placas deslizantes o perfiles ángulo que protegen los cantos del tablero con el paso del tiempo se aflojen, creando ruidos molestos con el paso del tráfico, en ocasiones, éstas quedan completamente sueltas, convirtiéndose en un peligro para la seguridad del tránsito vehicular. Las causas de estos problemas están a menudo relacionadas con el diseño y la construcción. Por ejemplo, la consolidación inadecuada del hormigón causa pérdida de soporte y mal anclaje de las placas (Ortuzar, 2007).

Se acumulan escombros no compresibles en la ranura al final de la placa (espacio para desplazamiento de la placa), pasado el tiempo estos escombros tienden a levantar la parte no anclada de la placa deslizante haciéndola más vulnerable a los impactos del tráfico vehicular. Los anclajes también ceden, se corren y las placas quedan propensas a fatiga por el impacto del tráfico. Al cortarse la soldadura entre los anclajes y los perfiles guarda canto, genera una condición sumamente riesgosa para los automovilistas cuando estas barras quedan expuestas sobre el plano de la calzada. Con el tiempo el pavimento aledaño a las cantoneras se deteriora y esto incrementa el impacto vehicular en la cantonera fatigando las uniones soldadas que fijan a la placa deslizante y pletina de tope, también, fracturando y desencajando a estas mismas.

4.1.1.3. Cantonera de placa dentada.

Las juntas dentadas tienden a tener menos problemas que muchas otras, algunas tienen problemas con los anclajes, también se averían las puntas o dientes, las cargas de tráfico las doblan y en consiguiente quedar con dientes rotos. Como resultado de esto aumenta el ruido, y queda una mala superficie de rodado para el tránsito vehicular. El problema más común es la fragmentación del pavimento alrededor de la junta, para que los elementos bajo el puente estén debidamente protegidos es necesario realizar un mantenimiento a la membrana de drenaje evitando que se deposite demasiados escombros.

4.1.2. Cantoneras de juntas cerradas.

Durante las últimas décadas se ha experimentado con los actuales sistemas, los cuales han sido mejorados, pero no han logrado obtener un desempeño ideal. Los cambios realizados

a estos sistemas se han debido a los daños producidos por impactos de tráfico y desechos no compresibles que se introducen en aperturas de la junta (Ortuzar, 2007).

Si bien, se trata de juntas selladas que inicialmente en condiciones ideales logran perfectamente la condición de estanqueidad que cada inspector fiscal del departamento de puentes exige cumplir para cuando es requerido este tipo de solución, pero, con el paso del tiempo y uso, estas se deterioran, se rompen los sellos, el material elastomérico va presentando desgaste progresivo hasta llegar al punto de corte, perdiendo la impermeabilidad al paso del agua, escombros y derrames químicos.

4.1.2.1. Cantonera elastomérica a compresión de sección abierta.

Se han presentado casos en que, al poco tiempo de instalados, estos se mueven y con el paso del tiempo pierden compresión. La experiencia en el uso de estos sistemas indica que funcionan en forma óptima en regiones donde existen temperaturas extremas moderadas, ya que para diferencias de temperaturas mayores el rango de movimiento de la junta aumenta (NCHRP, 2003). Otra debilidad en este sistema, es la acumulación de escombros dentro del espacio de junta, aquellos que son incompresibles y sobrepasan el plano de la calzada, terminan hundiendo al perfil.

4.1.2.2. Cantonera elastomérica a compresión de sección cerrada.

En lugares calurosos los sellos se pueden encoger debido a grandes movimientos de compresión, el aire dentro no se recupera cuando se vuelve a expandir la junta especialmente si no está apropiadamente ventilado. Con el paso del tiempo se han reportado casos en que el sello pierde su capacidad de retener su compresión inicial debido a la pérdida de elasticidad, en particular si los rangos de movimiento son grandes (NCHRP, 2003). Debido a su materialidad, es susceptible a ser dañado y cortado por escombros incompresibles acumulados sobre el perfil.

4.1.2.3. Cantoneras elastoméricas de EPDM inflable (Jeene).

A diferencia de la cantonera elastomérica a compresión, este sistema puede tolerar irregularidades menores sobre las paredes de los tableros a las cuales se adhiere, como la falta de alineación vertical u horizontal de las caras de la junta.

Las desventajas incluyen, la total dependencia al adhesivo epóxico para lograr la sujeción del perfil a las paredes de los tableros y su requerida impermeabilidad, también, este sistema fallará si es que se daña el borde de la junta posterior a la colocación del perfil elastomérico inflable.

4.1.2.4. Cantoneras elastoméricas reforzadas.

Estas requieren la total reposición si son dañadas, por lo que el costo es un factor a considerar en la elección; el fracaso de los empalmes entre módulos es otro problema, ya que, a través de ellos se logra producir filtraciones de agua. En países donde se usaron por décadas estos sistemas de juntas, se presentaron fallas con los pernos de anclaje, pero en la actualidad se están ocupando anclajes epóxicos (Ortúzar, 2007).

También, los sellos que cubren las fijaciones de estos sistemas pueden salirse, a causa del tráfico o fatiga del mismo sello, permitiendo el ingreso y filtración de agua, pudiendo también afectar produciendo óxido en las armaduras superiores del tablero y esta zona comience a agrietar y debilitar debido a la expansión de las armaduras oxidadas. Los bordes de la zona de transición entre elemento de junta y labio de transición, se pueden fragmentar, volviendo al sello más vulnerable a las filtraciones e impacto del tráfico.

Según su diseño, otra debilidad en este tipo de cantonera, se genera por la constante acumulación de escombros en sus ranuras que permiten el rango de movilidad para el cual fueron diseñadas, estos mismos, sumados a las cargas de tráfico, dañan considerablemente al material elastomérico. Si los escombros son incompresibles, afectan al movimiento de contracción del elemento, por lo que, a temperaturas altas la cantonera se doblará y será dañada al ser impactada en una condición fuera de diseño, por las cargas de tráfico.

4.2. Identificación de fallas presentes en cantoneras de puentes inspeccionados.

De acuerdo a las inspecciones realizadas, se ilustrará de manera focalizada y particular cada una de las observaciones levantadas en las inspecciones.

De forma general, se ha distinguido dentro de los puntos a observar en una cantonera:

- a) Para cantoneras metálicas, estado de:
 - Zona de transición (pavimento aledaño a la cantonera y sello bituminoso).
 - Perfiles metálicos (superiores y/o guarda cantos)
 - Puntos de soldaduras.
 - Anclajes al tablero.
 - Bordes de tableros.

b) Para cantoneras elastoméricas, estado de:

- Labios u hombros de transición (Blockout).
- Medio de fijación del perfil elastomérico (anclaje químico o adhesivo epóxico).
- Perfil elastomérico.
- Bordes de tableros.

A continuación, se presentará en las tablas N°4.1 y N°4.2, los cuadros generales correspondientes al detalle de la tipificación para cada una de las fallas observadas en los puentes inspeccionados, codificadas según materialidad y tipo de sistema de cantonera, para posteriormente ser abordadas detalladamente visualizando los estados de deterioro levantados mediante fotografías. Cabe mencionar que, la codificación asignada no corresponde a nada más que a un orden asignado por el autor de la investigación para individualizar e identificar su correspondencia de acuerdo al tipo de cantonera a la que se refiere.

Tabla 4.1: Cuadro general de fallas identificadas en cantoneras metálicas.

CUADRO GENERAL DE FALLAS IDENTIFICADAS EN CANTONERAS METÁLICAS				
MATERIAL	TIPO DE CANTONERA	OBSERVACIONES GENERALES	CÓDIGO	OBSERVACIONES ESPECÍFICAS (RIESGOS Y FALLAS)
Metálicas (M)	Guarda canto (M1)	Acum. Escombros	M1.F1.1	Acumulación de escombros dentro del espacio de junta.
		Daños al pavimento adyacente	M1.F2.1	Desprendimiento de áridos en pavimento adyacente a la junta.
			M1.F3.1	Óxido en los perfiles.
			M1.F3.2	Perfil suelto (corte en soldaduras o anclajes sueltos).
			M1.F3.3	Pérdida de perfil guarda canto.
		Daños bajo la junta	M1.F4.1	Daños en los cantos del tablero, pérdida de hormigón (ausencia de perfil).
			M1.F4.2	Elementos de anclaje expuestos y sobresalientes como elemento punzante.
	Placa deslizante (M2)	Acum. Escombros	M2.F1.1	Acumulación de escombros.
		Daños en pavimento adyacente y en sellos bituminosos	M2.F2.1	Fisuras y desprendimiento de material en pavimento adyacente a la cantonera.
			M2.F2.2	Pérdida de sellos bituminosos.
			M2.F2.3	Aparición de enfierraduras en pavimento.
			M2.F3.1	Óxido en perfiles.
		Daño en perfiles metálicos	M2.F3.2	Corte transversal en placa deslizante (parcial o total).
			M2.F3.3	Corte transversal en pletina de tope.
			M2.F3.4	Placa deslizante suelta (parcialmente, falla en soldaduras)
			M2.F3.5	Desprendimiento de placa deslizante (parcial).
			M2.F3.6	Desprendimiento de pletina de tope (parcial) o deformada.
			M2.F3.7	Perfiles Guarda Canto sueltos o removidos.
	Placa dentada (M3)	Malas prácticas	M2.F4.1	Junta cubiertas por recapado asfáltico.
		Acum. Escombros	M3.F1.1	Acumulación de escombros.
		Daños en pavimento adyacente y en sellos bituminosos	M3.F2.1	Pérdida de sellos bituminosos.
			M3.F2.2	Fisuras, Desprendimiento de material adyacente al perfil.
			M3.F2.3	Elemento/os de anclaje expuesto/os.
		Daño en los perfiles	M3.F3.1	Óxido en los perfiles.
			M3.F3.2	Deformación en placa dentada.
			M3.F3.3	Placa dentada suelta.
			M3.F3.4	Daño en dientes, deformación, ausencia o diente quebrado.
	Malas Prácticas		M3.F3.5	Desprendimiento total de placa dentada.
			M3.F4.1	Junta cubiertas por recapado asfáltico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla 4.2: Cuadro general de fallas identificadas en cantoneras elastoméricas.

CUADRO GENERAL DE FALLAS IDENTIFICADAS EN CANTONERAS ELASTOMÉRICAS				
MATERIAL	TIPO DE CANTONERA	OBSERVACIONES GENERALES	CÓDIGO	OBSERVACIONES ESPECÍFICAS (RIESGOS Y FALLAS)
Elastoméricas (E)	Compresión sección abierta (E1)	Acum. Escombros	E1.F1.1	Acumulación de escombros.
		Daños en sección de transición	E1.F2.1	Fisuras, grietas en hombro de transición.
			E1.F2.2	Desprendimiento de hombro de transición.
			E1.F3.1	Perfil desnivelado.
			E1.F3.2	Perfil despegado de uno de sus bordes.
	Compresión sección cerrada (E2)	Acum. Escombros	E1.F3.3	Descenso en uno de sus bordes.
			E2.F1.1	Acumulación de escombros.
			E2.F2.1	Fisuras, grietas en hombro de transición.
			E2.F2.2	Desprendimiento de hombro de transición.
			E2.F3.1	Perfil despegado de uno de sus bordes.
	EPDM inflexible - Jeene (E3)	Fallas en el sello	E2.F3.2	Daño en el perfil, elemento roto.
			E2.F3.3	Perfil parcialmente desprendido
			E2.F3.4	Perfil totalmente desprendido.
			E3.F1.1	Acumulación de escombros.
			E3.F2.1	Fisuras y/o grietas en hombro de transición.
	Elastomérica reforzada (E4)	Daños en sección de transición	E3.F2.2	Deformación en hombro de transición.
			E3.F2.3	Desprendimiento de hombro de transición.
			E3.F3.1	Perfil despegado de uno de sus bordes.
			E3.F3.2	Perfil parcialmente desprendido.
			E3.F3.3	Perfil totalmente desprendido.
	Fijaciones	Fallas en el sello	E3.F3.4	Daños sobre perfil Jeene: cortes, rasgaduras.
			E3.F4.1	Perfil de EPDM en sus extremos no fue sellado.
			E3.F4.2	Hombros de transición cubiertos por recapado asfáltico.
			E4.F1.1	Acumulación de escombros.
			E4.F2.1	Fisuras en labio de transición.
	Daños bajo el dispositivo	Acum. Escombros	E4.F2.2	Desprendimiento de labios de transición.
			E4.F3.1	Fisuras, pérdida parcial o total de sellos sobre unidades de fijación.
			E4.F3.2	Módulo elastomérico dañado: cortes, rasgaduras (parcial o total).
			E4.F3.3	Desprendimiento del módulo elastomérico (parcial o total).
			E4.F4.1	Fijaciones aflojadas (tuercas sueltas o ausentes).
		Fijaciones	E4.F4.2	Ancilaje doblado.
			E4.F4.3	Ancilaje suelto.
			E4.F5.1	Daños en hombro de apoyo o mortero base de nivelación.
			E4.F5.2	Aparecen enfierraduras de tablero.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo a las tablas N°4.1 y N°4.2, a continuación, se presentará en detalle los tipos de fallas que fueron codificadas y tipificadas para cada sistema de cantonera, siendo evidenciadas y presentadas de manera más clara mediante fotografías que fueron capturadas en las inspecciones realizadas.

4.2.1. Fallas identificadas en cantoneras de juntas abiertas.

Para esta clasificación, se ilustrará mediante fotografías capturadas en los puentes inspeccionados, identificando cada una de las observaciones codificadas de acuerdo a la tabla N° 4.1 que estuvieron presentes en los siguientes sistemas de cantoneras metálicas: guarda canto, placa deslizante y placa dentada.

4.2.1.1. Guarda canto.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: M1.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros dentro del espacio de junta. Afectan al tablero y dispositivo de junta generando sobre esfuerzos cuando estos quedan atrapados y son incompresibles. Ver figura 4.1.



Figura 4.1: Ilustración de falla M1.F1.1.
Fuente: Propia, puente San Gerónimo, 2021.

Código de riesgo: M1.F2.1.

Descripción: Desprendimiento de áridos en pavimento adyacente a la junta. Deja expuesto al perfil al golpe directo de las ruedas por el tránsito vehicular. Ver figura 4.2.

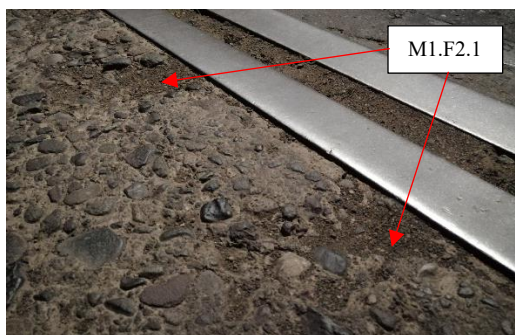


Figura 4.2: Ilustración de falla M1.F2.1.
Fuente: Propia, puente Los Olmos, 2021.

Código de riesgo: M1.F3.1.

Descripción: Óxido en los perfiles. Si bien, se observó presencia de óxido en algunos perfiles, no se observó destrucción, daños graves ni óxido avanzado, ya que el mismo tráfico vehicular lo va removiendo frenando su progreso. Ver figura 4.3.

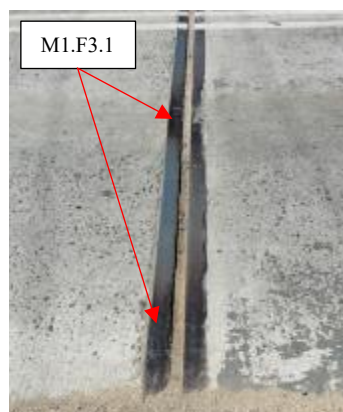


Figura 4.3: Ilustración de falla M1.F3.1.
Fuente: Propia, puente San Gerónimo, 2021.

Código de riesgo: M1.F3.2. y M1.F3.3.

Descripción: Perfil guarda canto suelto como pérdida de perfil se debe a rotura en los puntos de unión a los medios de anclaje (soldaduras) y/o a la pérdida adherencia de los medios de anclaje embebidos en el hormigón de tablero y fractura transversal del perfil guarda canto. Ver figura 4.4.

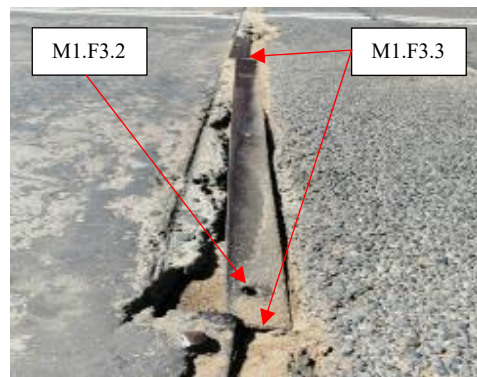


Figura 4.4: Ilustración de fallas M1.F3.2. y M1.F3.3.
Fuente: Propia, puente San Gerónimo, 2021.

Código de riesgo: M1.F4.1. y M1.F4.2.

Descripción: Daños por desmoronamiento de hormigón en bordes de los tableros y exposición de elementos de anclaje como elementos punzantes en la vía, implican estados avanzados de deterioro afectando a una progresiva fragmentación del hormigón, aumentando el espacio de surcos que comprometen la seguridad de los usuarios. La protección a las armaduras de tablero se ve afectada cuando estas comienzan a quedar expuestas, lo cual, desencadena una sucesión de fallas que se pueden manifestar a través de fisuras y grietas en esta y otras zonas del tablero. Ver figura 4.5.



Figura 4.5: Ilustración de fallas M1.F4.1. y M1.F4.2.
Fuente: Propia, puente San Gerónimo, 2021.

4.2.1.2. Placa deslizante.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: M2.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros en espacio de recorrido de la placa deslizante, generan sobre esfuerzos en la placa cuando a causa de movimientos verticales tienden a introducirse debajo, levantan y dejan expuesta la placa al golpe directo del tráfico vehicular. Ver figura 4.6.

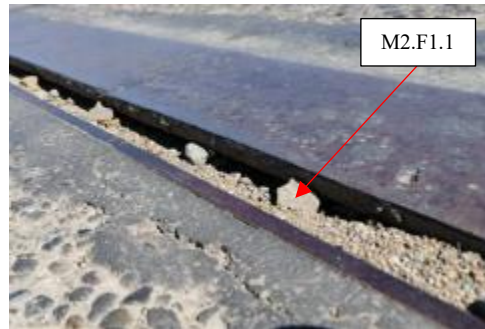


Figura 4.6: Ilustración de falla M2.F1.1.
Fuente: Propia, puente Don Bosco, 2021.

Código de riesgo: M2.F4.1

Descripción: El recapado asfáltico que deja tapados los sistemas de cantoneras se considera una mala práctica, además de generar resaltes en estos puntos de discontinuidad, obstruye el espacio de desplazamiento de la placa, causando, así como fue señalado en M2.F1.1, que parte de los áridos de la mezcla asfáltica se introduzcan debajo de la placa. Ver figura 4.7.



Figura 4.7: Ilustración de falla M2.F4.1.
Fuente: Propia, puente Lo Abarca, 2021.

Código de falla: M2.F2.1., M2.F2.2. y M2.F2.3.

Descripción: Fragmentación y desprendimiento del pavimento adyacente a las cantoneras, son fallas que se presentan en la sección de transición. Afectan la estabilidad del sistema de cantoneras al quedar expuestas a impactos directos del tráfico vehicular al verse afectada la continuidad en la calzada. También, se ven afectados los sellos bituminosos siendo arrancados en el encuentro dañado entre pavimento y cantonera metálica. Ver figuras 4.8 y 4.9.



Figura 4.8: Ilustración de falla M2.F2.1 y M2.F2.2.
Fuente: Propia, puente Pasarela La Laguna, 2021.



Figura 4.9: Ilustración de falla M2.F2.3.
Fuente: Propia, puente 19 de junio, 2021.

Código de falla: M2.F3.1.

Descripción: Óxido en los perfiles. Si bien, se observó presencia de óxido en algunos perfiles, no se observó destrucción, daños graves ni óxido avanzado, ya que el mismo tráfico vehicular lo va removiendo frenando su progreso. Ver figura 4.10.

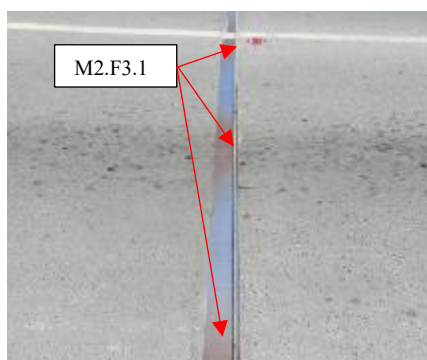


Figura 4.10: Ilustración de falla M2.F4.1.
Fuente: Propia, puente Seminario, 2021.

Código de falla: M2.F3.2. y M2.F3.4.

Descripción: Placa deslizante suelta se debe a fractura parcial o total en la misma placa y/o corte en puntos de soldadura que la unen al perfil angular anclado al tablero. Ver figura 4.11.

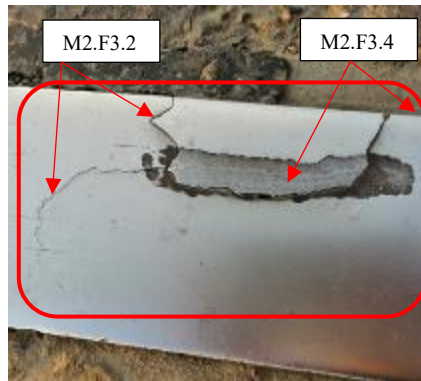


Figura 4.11: Ilustración de fallas M2.F3.2. y M2.F3.4
Fuente: Propia, puente Limache, 2021.

Código de falla: M2.F3.3., M2.F3.5., y M2.F3.6.

Descripción: Placa deslizante y pletina de tope desprendida parcial o totalmente, producto de un avance en las fallas M2.F3.2 Y M2.F3.4. Ver figuras 4.12 y 4.13.

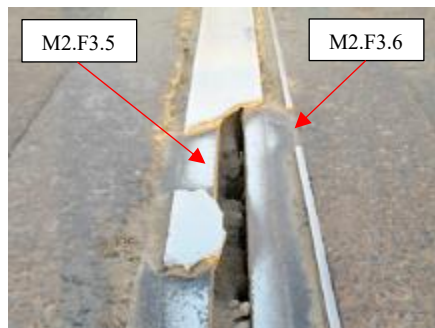


Figura 4.12: Ilustración de fallas M2.F3.5. y M2.F3.6
Fuente: Propia, puente Limache, 2021.



Figura 4.13: Ilustración de fallas M2.F3.3
Fuente: Propia, puente Río Blanco 1, 2021.

Código de falla: M2.F3.7.

Descripción: Soltura, desprendimiento del perfil guarda canto, con posterior fragmentación de los cantos del tablero, es la última etapa para la pérdida total del sistema de junta implicando un deterioro considerable a la estructura de tablero. Ver figura 4.14.



Figura 4.14: Ilustración de fallas M2.F3.7
Fuente: Propia, puente Río Blanco 1, 2021.

4.2.1.3. Placa dentada.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: M3.F1.1. y M3.F4.1.

Descripción: Acumulación de escombros en espacio de recorrido de la placa dentada, generan sobre esfuerzos en la placa cuando producto del vaivén tienden a introducirse debajo, levantan y dejan expuestos los dientes de la placa al golpe directo de las ruedas.

El recapado asfáltico que deja tapados los dispositivos de junta de dilatación se considera una mala práctica, además de generar resaltes en estos puntos de discontinuidad, obstruye el espacio de desplazamiento de la placa, provocando que esta se monte sobre los áridos liberados de la mezcla asfáltica. Ver figuras 4.15 y 4.16.



Figura 4.15: Ilustración de falla M3.F1.1
Fuente: Propia, puente San Pedro, 2021.

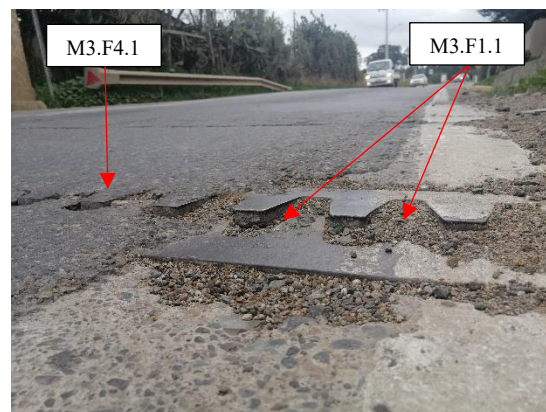


Figura 4.16: Ilustración de fallas M3.F1.1 y M3.F4.1
Fuente: Propia, puente Colmo, 2021.

Código de riesgo: M3.F2.1., M3.F2.2 y M3.F2.3.

Descripción: Pérdida de sellos bituminosos, daños en pavimento adyacente a los perfiles y aparición de elemento de anclaje, son fallas que se presentan en la sección de transición. Afectan la estabilidad de la cantonera al quedar expuesta a mayores esfuerzos producto de afectar la continuidad en el plano de calzada debiendo enfrentar golpes más directos de las cargas de tráfico. La exposición de los anclajes de la cantonera es un estado de deterioro severo ya que afecta a su estabilidad quedando vulnerable a ser fracturada y/o arrancada de su ubicación, también, queda vulnerable al ingreso de humedad hacia las armaduras del tablero. Ver figuras 4.17 y 4.18.

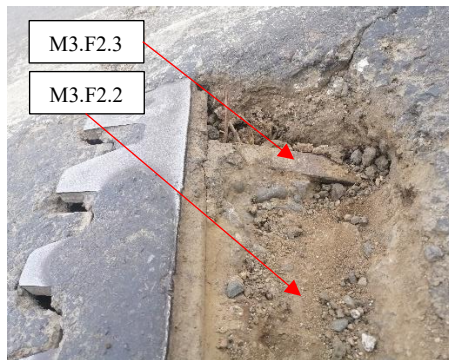


Figura 4.17: Ilustración de falla M3.F2.1. y M3.F2.3.
Fuente: Propia, puente Colmo, 2021.

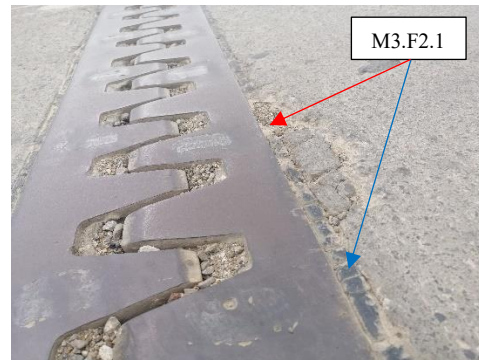


Figura 4.18: Ilustración de falla M3.F2.1.
Fuente: Propia, puente Colmo, 2021.

Código de riesgo: M3.F3.1., M3.F3.2., M3.F3.3

Descripción: Placa dentada suelta y deformaciones en la placa pueden ser a causa de corte en las uniones soldadas entre la placa dentada y el perfil de anclaje al tablero, y/o pérdida de adherencia de los anclajes embebidos en el hormigón del tablero. Bajo estas condiciones el perfil queda vulnerable ante cargas violentas de frenado o ser arrancado por reiterados golpes propios del tráfico vehicular. El óxido observado apareció en las áreas de menor tránsito, es superficial por lo que no se detectaron daños estructurales a su causa. Ver figuras 4.19 y 4.20.

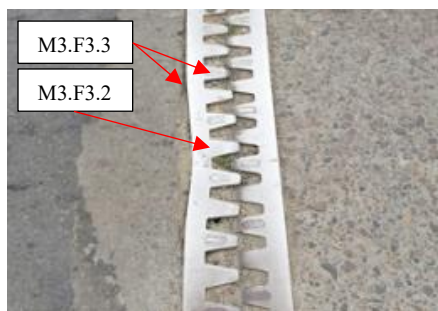


Figura 4.19: Ilustración de falla M3.F3.3.
Fuente: Propia, puente San Pedro, 2021.

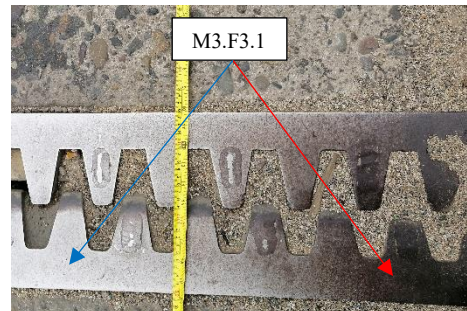


Figura 4.20: Ilustración de falla M3.F3.1.
Fuente: Propia, puente San Pedro, 2021.

Código de riesgo: M3.F3.4., y M3.F3.5.

Descripción: Daños en dientes, deformaciones y fractura de dientes son a causa de pérdida de la horizontalidad del perfil. El levantamiento de perfiles placa dentada como placa deslizante, se debe mayormente al sobreesfuerzo por escombros que se introducen bajo estas placas, como también, por efecto de desniveles provocados por asentamientos diferenciales. En ambos casos, las placas resultan muy expuestas a golpes directos que concluyen arrancando los perfiles. Ver figuras 4.21 y 4.22.



Figura 4.21: Ilustración de falla M3.F3.5.
Fuente: Propia, puente San Pedro, 2021.

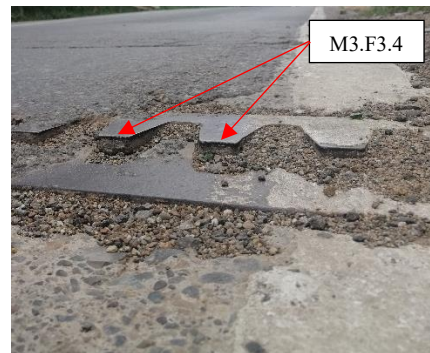


Figura 4.22: Ilustración de falla M3.F3.4.
Fuente: Propia, puente Colmo, 2021.

4.2.2. Fallas identificadas en cantoneras de juntas cerradas.

Para esta clasificación, se ilustrará mediante fotografías capturadas en los puentes inspeccionados, identificando cada una de las observaciones codificadas de acuerdo a la tabla N° 4.2 que estuvieron presentes en los siguientes sistemas de cantoneras elastoméricas: a compresión de sección abierta y cerrada, EPDM inflable – Jeene y elastomérica reforzada.

4.2.2.1. Elastomérica a compresión de sección abierta.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: E1.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros sobre estos sistemas de junta, generan desgaste al material de neopreno, además, con el tránsito vehicular generan sobre cargas de tensión en los adhesivos epóxicos que permiten el sello en la junta, dichas sobre cargas terminan hundiéndose y despegando al perfil elastomérico de una o ambas paredes de los tableros. Ver figuras 4.23 y 4.24.

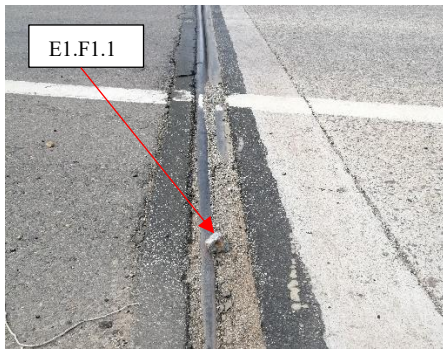


Figura 4.23: Ilustración de falla E1.F1.1.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.



Figura 4.24: Ilustración de falla E1.F1.1.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.

Código de riesgo: E1.F2.1. y E2.F2.2.

Descripción: Fisuras y grietas en hombros de transición, se pueden originar por una deficiente estabilidad del hormigón base en el cajón diseñado para el *blockout*, también, por una instalación inadecuada descuidando la profundidad a la que debe quedar el perfil y que el nivel sea continuo sin oscilar en diferencias de altura. Cuando esta falla ocurre, resta compresión al dispositivo elastomérico afectando su funcionamiento y estabilidad, e implicando el posterior despegue total. Además, se observa que no hay uniformidad en la profundidad empleada para las dimensiones de la sección transversal en los hombros de transición. Ver figuras 4.25 y 4.26.



Figura 4.25: Ilustración de falla E1.F2.1.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.



Figura 4.26: Ilustración de falla E1.F2.2.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.

Código de riesgo: E1.F3.1.

Descripción: Se observa como una instalación inadecuada al no mantener una altura uniforme del perfil respecto del plano de la calzada, ya que, al revisar el estado de sus sellos, se encontraban perfectamente adheridos en los tramos en que se apreciaba hundimiento del perfil. Ver figura 4.27.



Figura 4.27: Ilustración de falla E1.F3.1.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.

Código de riesgo: E1.F3.2.

Descripción: Rotura del sello en uno de sus bordes. Como se ha mencionado recientemente, esta causa se debe a sobre esfuerzos en hundimiento del perfil producto de acumulación de escombros sobre este, instalación deficiente, o bien, diseño inadecuado y el perfil dejó de trabajar a compresión en los movimientos de expansión en la junta, el adhesivo no soportó la tensión ya que su diseño de fábrica no se basa en trabajar bajo esa condición. Ver figura 4.28.

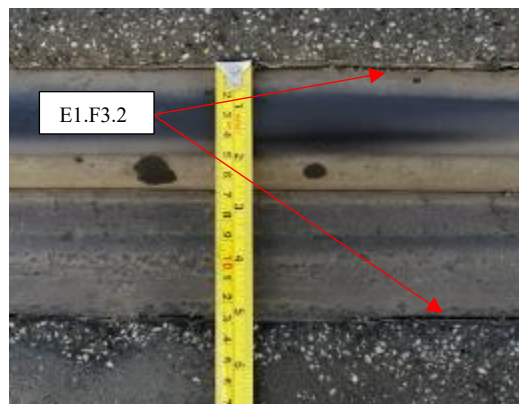


Figura 4.28: Ilustración de falla E1.F3.2.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.

Código de riesgo: E1.F3.3.

Descripción: Se ve que el descenso disparado en uno de sus bordes, debe ser mayormente a causa de hundimiento ocasionado por escombros, por una carga puntual. Se observa una condición desfavorable en la junta ya que, además de generar un punto de acumulación de escombros, deja expuesto el borde del tablero afectando también a la continuidad en el plano de la calzada. Ver figura 4.29.



Figura 4.29: Ilustración de falla E1.F3.3.
Fuente: Propia, puente Petorca, 2021.

4.2.2.2. Elastomérica a compresión de sección cerrada.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: E2.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros sobre estos sistemas de junta, generan desgaste y cortes al perfil de espuma de polietileno, frente a la acción del tránsito vehicular sobre ellos. Ver figura 4.30.



Figura 4.30: Ilustración de falla E2.F1.1.
Fuente: Propia, puente 21 de mayo, 2021.

Código de riesgo: E2.F2.1. y E2.F2.2.

Descripción: Fisuras y grietas en labios de transición de la sección de transición. Se pueden originar por una deficiente estabilidad del hormigón base en el cajón diseñado para el Blockout. También, para ese tipo de sello se suele emplear un espesor de hormigón de transición menor al indicado por el fabricante. Ver figuras 4.31 y 4. 32.

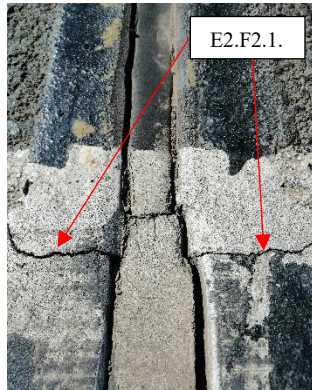


Figura 4.31: Ilustración de falla E2.F2.1.
Fuente: Propia, puente Chagres, 2021.



Figura 4.32: Ilustración de falla E2.F2.2.
Fuente: Propia, puente 21 de mayo, 2021.

Código de riesgo: E2.F3.1. y E2.F3.2.

Descripción: Rotura del sello en uno de sus bordes. En este caso se puede deber a instalación deficiente, o bien, un diseño inadecuado implicando que el perfil deje de trabajar a compresión en los movimientos de expansión en la junta. Cabe destacar que, en tramos se identificó un perfil del mismo tipo, pero evidente diferencia en el tiempo de su puesta en servicio, este se observa quemado y rigidizado, lo que debe estar afectando su funcionalidad y su despegue entre ambas caras del tablero de manera alternada en la extensión de la junta.

A diferencia del perfil de sección abierta, la materialidad de este le permite ser un perfil más elástico, con mayor rango de contracción y expansión, pero, es susceptible a cortes por debido a la acumulación de escombros sobre él, inclusive por actos vandálicos. Ver figuras 4.33 y 4.34.

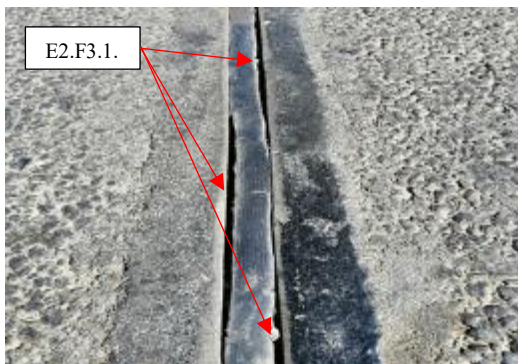


Figura 4.33: Ilustración de falla E2.F3.1.
Fuente: Propia, puente Chagres, 2021.



Figura 4.34: Ilustración de falla E2.F3.2.
Fuente: Propia, puente 21 de mayo, 2021.

Código de riesgo: E2.F3.3. y E2.F3.4.

Descripción: Perfil parcial o totalmente desprendido. Corresponde a falla por deficiencia en el diseño y elección del tipo de junta, ya que este perfil no debería perder compresión en su máximo de extensión, por ende, no se debería desprender, a no ser, que fuese por rotura del perfil. Ver figura 4.35.



Figura 4.35: Ilustración de falla E2.F3.3. y E2.F3.4.

Fuente: Propia, puente 21 de mayo, 2021.

4.2.2.3. Elastomérica de EPDM inflable (Jeene)

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: E3.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros sobre estos sistemas de junta, generan desgaste y deterioro tanto para el perfil de neopreno, como para los sellos (adhesivo epóxico), provocando sobre esfuerzos de tensión al adhesivo epóxico, el cual, es el único medio de adherencia del perfil hacia ambos tableros. Ver figura 4.36.



Figura 4.36: Ilustración de fallas E3.F1.1
Fuente: Propia, puente Senador Alfredo Jaraquemada, 2021.

Código de falla: E3.F2.1., E3.F2.2., y E3.F2.3.

Descripción: Daños en el hombro de transición como fisuras y/o grietas, deformaciones en los bordes y desprendimiento, inciden directamente en la pérdida de sujeción del perfil Jeene implicando la rotura del sello. Este perfil se fija a ambos bordes solo a través de un adhesivo epóxico, el cual, al menos se adhiere en un 80% de su altura de adherencia al hombro de transición; es por esta razón que, daños por fragmentación y desprendimiento o deformaciones en el hombro de transición van a incidir directamente en el despegue del perfil en el lado afectado, o peor aún, la caída del perfil Jeene. Ver figuras 4.37 y 4.38.



Figura 4.37: Ilustración de fallas E3.F2.2
Fuente: Propia, puente La Higuera, 2021.



Figura 4.38: Ilustración de fallas E3.F2.1.
Fuente: Propia, puente Putaendo, 2021.

Código de falla: E3.F3.1., E3.F3.2., E3.F3.3., y E3.F3.4.

Descripción: Perfil Jeene despegado de uno de sus bordes, desprendido parcial o totalmente, son fallas que están relacionadas con la fatiga del adhesivo epóxico debido a sobre esfuerzos de tensión sobre este. Los sobre esfuerzos se deben a solicitaciones de expansión no consideradas en el diseño, otro factor puede ser la presión de hundimiento por acumulación de escombros en la superficie del perfil y la presión que ejerce el paso del tráfico vehicular sobre ellos. Por otra parte, y como fue mencionado anteriormente, cabe recalcar la importancia del estado de los hombros de transición, porque de haber desprendimiento de material, afectará a la sujeción del perfil Jeene.

Los daños de cortes y rasgaduras en el perfil, se observa que pueden ser por efecto de desgaste debido a la acumulación de escombros. También, por efecto de mordedura del borde superior del perfil, al no haber sido instalado a la profundidad mínima respecto de la superficie de calzada, a bajas temperaturas cuando la junta se contrae, el borde superior sobresale de la cota de calzada quedando expuesto y siendo mordido en el impacto de las ruedas contra el borde del hombro de transición. Ver figuras 4.39, 4.40 y 4.41.



Figura 4.39: Ilustración de fallas E3.F3.1
Fuente: Propia, puente Lo Gamboa, 2021.

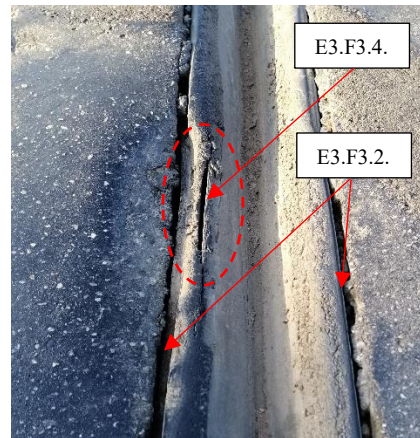


Figura 4.40: Ilustración de fallas E3.F3.4
Fuente: Propia, puente La Higuera, 2021.



Figura 4.41: Ilustración de fallas E3.F3.3
Fuente: Propia, puente Senador Alfredo Jaraquemada, 2021.

Código de riesgo: E3.F4.1. y E3.F4.2.

Descripción: Falta de sellado en los extremos del perfil elastomérico, son muestra de una falla en la instalación. El perfil debe ser inflado y mantener presurizado durante al menos 24 horas hasta que el adhesivo de montaje haya endurecido. Se presuriza para que tanto el perfil como el adhesivo se logren ajustar a cada irregularidad existente en las paredes de tableros donde se va a fijar. Al no realizar esta presurización, el adhesivo no se ajusta a todas las imperfecciones generando espacios de discontinuidad del sello y debilidad en la adherencia.

Otra mala práctica es, llevar el recapado asfáltico directo hasta la zona de encuentro con el perfil, quedando por encima del labio de transición (mortero de transición). La baja dureza del asfalto y la liberación de áridos afectará deteriorando al perfil por acumulación de escombros. Ver figuras 4.42, 4.43 y 4.44.



Figura 4.44: Ilustración de falla E3.F4.2
Fuente: Propia, puente Santa Julia, 2021.

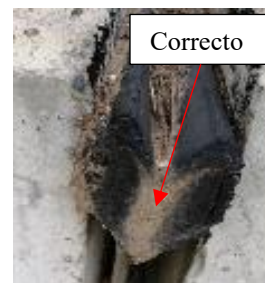


Figura 4.42: Ilustración de falla E3.F4.1
Fuente: Propia, puente El Yugo 2, 2021.



Figura 4.43: Ilustración de falla E3.F4.1
Fuente: Propia, puente Carretón, 2021.

4.2.2.4. Elastomérica reforzada.

Respecto de las observaciones levantadas en terreno, los tipos de fallas que se pudieron visibilizar a través del método de inspección visual apuntan a las siguientes:

Código de riesgo: E4.F1.1.

Descripción: Acumulación de escombros sobre estos dispositivos no generan mayores esfuerzos de hundimiento, pero sí, desgastan al dispositivo de neopreno y obstruyen las ranuras diseñadas para la libertad de movimiento de expansión y contracción para la cual fue diseñado.

Al taparse dichas ranuras de escombros no compresibles y al contraerse la junta, se levanta lo necesario compensando la restricción que tiene al movimiento y dicha parte levantada queda expuesta a ser impactada por el tráfico vehicular. Ver figura 4.45.

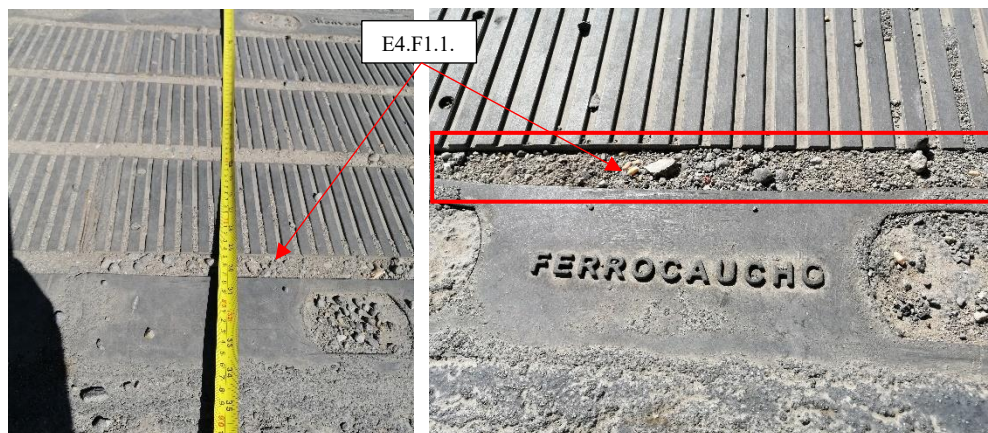


Figura 4.45: Ilustración de falla E4.F1.1
Fuente: Propia, puente Tres Esquinas, 2021.

Código de falla: E4.F2.1. y E4.F2.2.

Descripción: Daños en el labio de transición como fisuras, grietas o desprendimiento de material, ponen vulnerable al sello, permitiendo que penetre la humedad y/o escombros hacia las zonas inferiores del módulo elastomérico, afectando a los mismos anclajes, como también a la armadura del tablero. Ver figuras 4.46 y 4.47.



Figura 4.46: Ilustración de falla E4.F2.1
Fuente: Propia, puente Pelumpen, 2021.



Figura 4.47: Ilustración de falla E4.F2.2
Fuente: Propia, puente Lo Orozco, 2021.

Código de falla: E4.F3.1., E4.F4.1., E4.F3.2. y E4.F3.3.

Descripción: Fisuras y posterior pérdida parcial o total de sellos sobre las fijaciones, dejan vulnerable a dichos elementos ante el ingreso de humedad. Quedan expuestos a corrosión, también, las fijaciones comienzan a soltarse. Los daños de rasgadura o cortes en el módulo elastomérico, afectan la impermeabilidad de la junta, afectando a los elementos estructurales situados en las mesas de apoyo en puentes, principalmente a la corrosión. Cuando este elemento es finalmente arrancado por deterioro, la junta queda totalmente expuesta al ingreso de escombros, deja vulnerables los cantos del tablero a desmoronamiento y posterior exposición de armaduras superficiales. Ver figuras 4.48 y 4.49.



Figura 4.48: Ilustración de falla E4.F3.1 y E4.F4.1
Fuente: Propia, puente Marga Marga, 2021.



Figura 4.49: Ilustración de falla E4.F3.2 y E4.F3.3
Fuente: Propia, puente Marga Marga, 2021.

Código de falla: E4.F4.2., E4.F4.3., E4.F5.1. y E4.F5.2.

Descripción: Pérdida de apriete en los elementos de fijación, expone al perfil a un vaivén violento ante el tráfico vehicular, estos esfuerzos terminan por cortar y arrancar completamente el perfil elastomérico. Quedan expuestos los medios de anclaje, generando una cuota de peligro para los usuarios al permanecer como objetos punzantes y sobresalientes en este espacio abierto que ha dejado el perfil removido.

Daños en los cantos del tablero por desmoronamiento, abre paso a la aparición de armaduras de tablero, dejándolas expuestas a oxidación y proyectar este deterioro a otras zonas del tablero. Ver figuras 4.50 y 4.51.



Figura 4.50: Ilustración de falla E4.F4.2 y E4.F4.3
Fuente: Propia, puente Marga Marga, 2021.



Figura 4.51: Ilustración de falla E4.F5.1 y E4.F5.2
Fuente: Propia, puente Marga Marga, 2021.

4.3. Clasificación de observaciones levantadas a considerar para mantenimiento preventivo o correctivo.

Por último, es necesario identificar que el mantenimiento de las cantoneras puede ser también en etapa preventiva como en etapa correctiva, por lo tanto, cada observación de riesgo o falla mencionada anteriormente, se puede clasificar considerando que, para condiciones de riesgo y vulnerabilidad que pueden ser reconocidas y subsanadas previo a que este riesgo implique la formación de alguna falla al sistema de cantoneras empleado, se habla de operaciones de mantenimiento preventivo. Por otro lado, cuando ya se ha presentado alguna condición de falla en las cantoneras y antes de requerir el reemplazo total del sistema de junta, se habla de operaciones de mantenimiento correctivo.

4.3.1. Observaciones de riesgo para mantenimiento preventivo.

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, la presencia de escombros acumulados sobre cualquiera de los tipos de cantoneras señalados en este estudio, al no ser removidos a tiempo, siempre serán incidentes en la formación de fallas, afectando a las cantoneras implicando desgaste directo sobre estas mismas, erosión de pavimento aledaño, sobre esfuerzos, desencaje, rotura de sellos en el caso de las elastoméricas, además de los efectos perjudiciales a los tableros y mesas de apoyo, en caso de penetrar hacia el interior de la cavidad entre tableros. En vista de lo anterior y de que esta observación tuvo un 100% de recurrencia en los 44 puentes inspeccionados para cualquiera de los 7 sistemas de cantoneras identificados, es de considerar la importancia de establecer operaciones rutinarias de limpieza y remoción de escombros sobre los tableros, escombros sobre y atrapados entre las cantoneras. Asimismo, en caso de haber cantoneras que contemplan el uso de canal de desagüe bajo las juntas de dilatación, es

importante de considerar su limpieza, removiendo basura y escombros acumulados en virtud de conservar su operatividad que es beneficiosa en protección de elementos estructurales de la subestructura en puentes.

Es necesario aclarar que observaciones de riesgo, tales como, sistemas de cantoneras tapadas por recapado asfáltico o procedimientos de instalación mal ejecutados, no se consideran para intervenciones de mantenimiento preventivo, aunque en sí mismos, aún no presenten una falla y sean considerados como riesgo de incidir en la formación de alguna, su actividad correspondería a una de reparación y no a una de protección.

4.3.2. Observaciones de fallas para mantenimiento correctivo.

Manteniendo la clasificación y codificación asignada anteriormente, las fallas que han sido consideradas para ser tratadas en operaciones de mantenimiento correctivo, corresponden a las presentadas en las siguientes tablas siendo marcados sus códigos de fallas en color azul:

- a) Para cantoneras de placa deslizante según tabla 4.3:

Tabla 4.3: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.

TIPO DE CANTONERA	CÓDIGO DE FALLA	FALLAS Y DEFECTOS OBSERVADOS
PLACA DESLIZANTE	M2.F1.1	Acumulación de escombros.
	M2.F2.1	Fisuras y desprendimiento de material en pavimento adyacente a la cantonera.
	M2.F2.2	Pérdida de sellos bituminosos.
	M2.F2.3	Aparición de enfierraduras en pavimento.
	M2.F3.1	Óxido en perfiles.
	M2.F3.2	Corte en placa deslizante (parcial o total)
	M2.F3.3	Corte en pletina de tope
	M2.F3.4	Placa deslizante suelta (parcialmente, falla en soldaduras)
	M2.F3.5	Desprendimiento de placa deslizante (parcial)
	M2.F3.6	Desprendimiento de pletina de tope (parcial) o deformada.
	M2.F3.7	Perfiles Guarda Canto sueltos o removidos.
	M2.F4.1	Junta cubiertas por recapado asfáltico

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para este sistema de cantoneras, fallas que impliquen daños en perfiles guarda canto, tales como, rotura en las soldaduras de unión a los anclajes, anclajes sueltos o guarda cantos removidos, implican la reparación total del sistema de cantonera, por lo cual, ya no puede ser considerada como una operación de reparación parcial, sino que implica el reemplazo total del elemento.

b) Para cantoneras elastoméricas EPDM inflable (Jeene) según tabla 4.4:

Tabla 4.4: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.

TIPO DE CANTONERA	CÓDIGO DE FALLA	FALLAS Y DEFECTOS OBSERVADOS
ELASTOMÉRICA DE EPDM INFLABLE (JEENE)	E3.F1.1	Acumulación de escombros.
	E3.F2.1	Fisuras y/o grietas en hombro de transición.
	E3.F2.2	Deformación en hombro de transición.
	E3.F2.3	Desprendimiento de hombro de transición.
	E3.F3.1	Perfil despegado de uno de sus bordes.
	E3.F3.2	Perfil parcialmente desprendido.
	E3.F3.3	Perfil totalmente desprendido.
	E3.F3.4	Daños sobre perfil Jeene: cortes, rasgaduras.
	E3.F4.1	Perfil de EPDM en sus extremos no fue sellado.
	E3.F4.2	Hombros de transición cubiertos por recapado asfáltico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La observación de código E3.F4.1., no es considerado como una falla, sino que una observación a un proceso de instalación mal ejecutado, el cual, genera una condición de riesgo a una posible falla por despegue del perfil debido a no haber consolidado un ajuste adecuado a las irregularidades de las paredes del tablero producto de que el perfil no fue presurizado.

c) Para cantoneras elastoméricas reforzadas según tabla 4.5:

Tabla 4.5: Fallas consideradas para mantenimiento correctivo.

TIPO DE CANTONERA	CÓDIGO DE FALLA	FALLAS Y DEFECTOS OBSERVADOS
ELASTOMÉRICA REFORZADA	E4.F1.1	Acumulación de escombros.
	E4.F2.1	Fisuras en labio de transición.
	E4.F2.2	Desprendimiento de labios de transición.
	E4.F3.1	Fisuras, pérdida parcial o total de sellos sobre unidades de fijación.
	E4.F3.2	Módulo elastomérico dañado: cortes, rasgaduras (parcial o total).
	E4.F3.3	Desprendimiento del módulo elastomérico (parcial o total).
	E4.F4.1	Fijaciones aflojadas (tuercas sueltas o ausentes).
	E4.F4.2	Anclaje doblado.
	E4.F4.3	Anclaje suelto.
	E4.F5.1	Daños en hombro de apoyo o mortero base de nivelación.
	E4.F5.2	Aparecen enfierraduras de tablero.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En este tipo de cantoneras, cuando se ve dañado el módulo elastomérico por cortes y/o rasgaduras será necesario sustituirlo debido a que este sistema trabaja al 100% en contacto con las cargas del tráfico vehicular y, reparaciones sobre el módulo tales como, procesos de vulcanizado o parches, serían una solución provisoria de corta durabilidad. Asimismo, cuando se llega a un estado de fatiga del módulo elastomérico tal que resulta ser desprendido, parcial o totalmente, también requiere ser restituido por una nueva unidad. De acuerdo a los datos analizados de las inspecciones realizadas, se observa que,

cuando se llega a esta condición, primero ya han fallado el resto de los elementos que componen a este sistema de cantonera, por lo que se puede considerar como una condición crítica.

4.4. Identificación y análisis de las fallas más frecuentes.

De acuerdo a lo identificado en la figura 3.3 del capítulo anterior, para este caso, se considerará abordar el estudio de las fallas correspondientes a los sistemas de cantoneras que resultaron ser las más frecuentemente utilizadas en la región de Valparaíso, en vista de que aportan mayor información respecto de la repetitividad de una falla dentro de un sistema en común.

Por lo tanto, respecto de los resultados reflejados en la figura 3.3 del capítulo anterior, se estudiarán a continuación las fallas que corresponden a los siguientes sistemas de cantoneras:

- Placa deslizante, presente en un 32% de los puentes inspeccionados.
- Elastomérica de EPDM inflable – Jeene, presente en un 34% de los puentes inspeccionados.
- Elastomérica reforzada, presente en un 18% de los puentes inspeccionados.

4.4.1. Placa deslizante.

Considerando que la cantidad total de puentes inspeccionados que cuenta con este sistema de cantoneras fueron 14, resultó la siguiente distribución porcentual en recurrencia de las observaciones levantadas respecto de la cantidad total de puentes que ocupa este sistema. Ver gráfico 4.1.



Gráfico 4.1: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera de placa deslizante.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El gráfico 4.1, presenta la totalidad de las observaciones levantadas para este sistema de cantonera, discriminando con barras en color gris las observaciones que no corresponden a fallas a poder tratar en operaciones de mantenimiento correctivo. Como fue mencionado en el acápite 4.3.2., la falla M2.F3.7., es considerada un caso crítico dentro de las posibles fallas a ocurrir en el sistema de placa deslizante ya que se ve afectado desde sus bases de anclaje, lo que significa la sustitución completa del sistema de cantonera y de ser necesario, reparaciones adicionales en el borde del tablero si es que fue dañado debido a su exposición al impacto de las cargas de tráfico. Afortunadamente dentro del listado de puentes inspeccionados, este caso solo representa un 7%.

Al discriminar según las fallas más frecuentes que corresponden a operaciones de mantenimiento correctivo, se ha determinado, considerar las que presenten un porcentaje de recurrencia mayor o igual a un 50%, en vista de ello, se presenta la siguiente gráfica de barras. Ver gráfico 4.2.



Gráfico 4.2: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera de placa deslizante.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Es de esperar que el mayor porcentaje de recurrencia se observe en la falla M2.F2.3., que corresponde a la presencia de óxido en los perfiles, lo cual, es casi inevitable dada la naturaleza de estas cantoneras y el medio en el que se encuentran, pero, casi en la totalidad de los casos no se observó casos severos de óxido dañando estructuralmente a las piezas que las componen, sino que, el óxido presente es superficial en el 86% de los casos. Se observa que el mismo tráfico vehicular impide el progreso del óxido, dado a que se ve directa relación en que la presencia de óxido desaparece en las áreas de huella vehicular.

La pérdida de sellos bituminosos (M2.F2.2.) es otra de las fallas que se hace más frecuente de ver, presente en un 86% de los casos, se dañan y son constantemente erosionados por los escombros acumulados, atrapados junto al borde de la cantonera, en efecto del tráfico vehicular. Otro factor, conocido en base a conversaciones con profesionales del área, es que en aplicaciones de bajas cantidades como lo es el requerimiento de estos sellos, hay empresas que hacen preparación del mastic asfáltico en ollas a fuego directo, con el fin de evitar el costo de emplear una caldera de doble cámara especial para estas preparaciones, lo que afecta reduciendo significativamente las propiedades ligantes y de trabajabilidad del mastic asfáltico producto de un proceso de fundición localizado y sobrecalentamiento.

El daño presente en el pavimento alrededor a las cantoneras (M2.F2.1.) presente en un 64% de los casos, en parte se debe la erosión que genera la acumulación de escombros, por otro lado, es un factor a considerar, la penetración de la humedad que genera óxido en las armaduras del tablero y ocasiona fisuras o grietas en el pavimento.

La falla M2.F2.1., deja expuestas a las piezas superficiales de la cantonera, es decir, la placa deslizante y pletina de tope a impactos directos de las cargas de tráfico debido a la pérdida

de continuidad generada en la calzada. Con el paso del tiempo y afectado por las cargas de tráfico, comenzarán los daños en las uniones soldadas, dando paso a la soldadura de placa deslizante y/o pletina de tope (M2.F3.4.) representando a un 57% de los casos. En efecto y progreso de lo anterior, derivan las fallas por deformación y/o corte de pletina de tope (M2.F3.3) como también, la generación de cortes transversales en placa deslizante (M2.F3.2.), finalmente conllevando a la pérdida parcial o total de ambos elementos (M2.F3.5. y M2.F3.6.).

4.4.2. Elastomérica de EPDM inflable.

Considerando que la cantidad total de puentes inspeccionados que cuenta con este sistema de cantoneras fueron 15, resultó la siguiente distribución porcentual en recurrencia de las observaciones levantadas respecto de la cantidad total de puentes que ocupa este sistema. Ver gráfico 4.3.

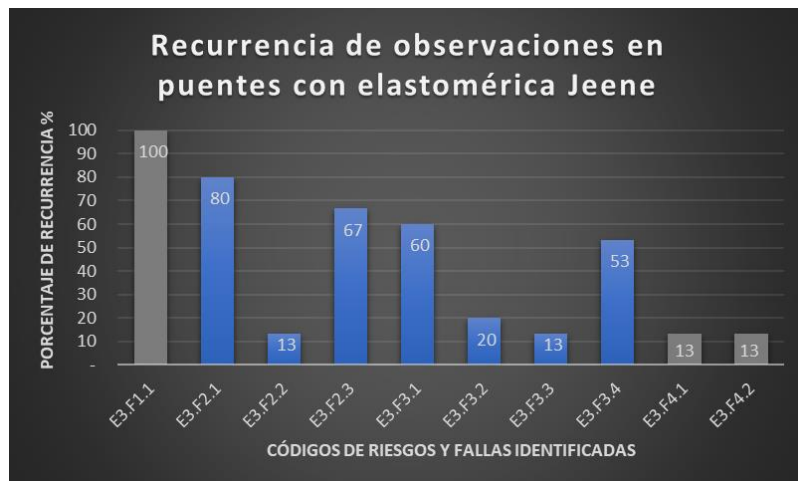


Gráfico 4.3: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera de EPDM inflable.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El gráfico 4.3, presenta la totalidad de las observaciones levantadas para este sistema de cantonera, discriminando con barras en color gris las observaciones que no corresponden a fallas a poder tratar en operaciones de mantenimiento correctivo. Como fue mencionado en el acápite 4.3.2., la observación E3.F4.1., es considerada un riesgo producto de un proceso de instalación incorrecto, el cual, como tal no es una falla, pero sí, un riesgo en la incidencia de una falla por pérdida de adhesión del perfil Jeene.

Al discriminar según las fallas más frecuentes que corresponden a operaciones de mantenimiento correctivo, se ha determinado, considerar las que presenten un porcentaje de recurrencia mayor o igual a un 50%, en vista de ello, se presenta el gráfico de barras 4.4.



Gráfico 4.4: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera elastomérica de EPDM inflable.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

La falla observada que presenta mayor recurrencia corresponde al daño generado en hombros de transición producto de la generación de fisuras y/o grietas (E3.F2.1.) presente en un 80 % de los casos. Respecto del análisis en las instalaciones realizadas para los 15 puentes inspeccionados, se ha identificado que esta falla se puede deber respecto a las siguientes causales:

- 1) Existencia de cantoneras instaladas sin ejecutar mejoramiento de bordes de transición fortificados con mortero elastomérico (33% de casos).
- 2) Se observan casos en los que no se dimensionó la sección transversal del hombro acorde a las exigencias mínimas establecidas por los fabricantes de este sistema compuesto, considerando una relación entre ancho:profundidad del hombro 2:1 con un mínimo de 1.1/2" de profundidad. En un 67% de los casos, sí se empleó el acondicionamiento de bordes de tableros en mortero elastomérico, pero, el 60% de los casos no cumple las condiciones mínimas en las dimensiones requeridas.
- 3) Producto de daños causados a la estabilidad del hormigón de tablero producto de las cargas de tráfico en la vía.

A causa de lo mencionado y en progreso de la falla anterior, es que se agrava el deterioro causando desprendimiento de bordes u hombros de transición (E3.F2.3) la cual se observó presente en un 67% de los casos.

Despegue del perfil Jeene (E3.F3.1.) y/o desprendimiento parcial o total se puede deber a problemas de estabilidad en las caras de los tableros u hombros de transición, según lo planteado en la falla E3.F2.3., o bien, a problemas de adhesión producto de un proceso de instalación inadecuado errando en alguno de los pasos como: acondicionamiento de superficies, dosificación y mezcla de adhesivo, presurización del perfil una vez inserto y nivelado dentro de

la junta. Otro factor a considerar, es la incidencia de la acumulación de escombros atrapados en la junta que, al ser incompresibles y sobre salir del plano de la calzada, las cargas del tráfico vehicular terminan desprendiendo al perfil Jeene.

Por último, los daños ocasionados sobre el perfil debido a cortes o rasgaduras (E3.F3.4.), fuera de considerar la durabilidad del perfil y quemaduras ocasionadas por su exposición al sol y al medio en el que se encuentre, se observa que incide en ello la acumulación de escombros o elementos cortopunzantes que, en efecto de las cargas de tráfico, ocasionan daños al perfil. Por otra parte, se observan daños por mordedura en aristas superiores del perfil, producto de que el perfil no fue instalado a la profundidad mínima requerida bajo el plano de la calzada, lo que genera que estas aristas del perfil sean lastimadas por el golpe de las ruedas contra los cantos del tablero.

4.4.3. Elastomérica reforzada.

Considerando que la cantidad total de puentes inspeccionados que cuenta con este sistema de cantoneras fueron 8, resultó la siguiente distribución porcentual en recurrencia de las observaciones levantadas respecto de la cantidad total de puentes que ocupa este sistema. Ver gráfico 4.5.



Gráfico 4.5: Recurrencia de observaciones en puentes con cantonera elastomérica reforzada.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El gráfico 4.5, presenta la totalidad de las observaciones levantadas para este sistema de cantonera, discriminando con barras en color gris las observaciones que no corresponden a fallas a poder tratar en operaciones de mantenimiento correctivo. Como fue mencionado en el acápite 4.3.2., las fallas E4.F3.2. y E4.F3.3 se consideran un caso crítico de falla ya que sería necesario

realizar el reemplazo completo del módulo y las implicancias que conllevan a esta condición de falla, hacen que esta intervención no sea una de carácter parcial, sino que total.

Al discriminar según las fallas más frecuentes que corresponden a operaciones de mantenimiento correctivo, se ha determinado, considerar las que presenten un porcentaje de recurrencia mayor o igual a un 50%, en vista de ello, se presenta la siguiente gráfica de barras. Ver gráfico 4.6.



Gráfico 4.6: Fallas más recurrentes en puentes con cantonera elastomérica reforzada.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Fallas en el labio de transición, inicialmente por formación de fisuras (E4.F2.1.) se observa su presencia en el 100% de los casos. Respecto del análisis realizado sobre este elemento en los puentes inspeccionados, se ha identificado que en un 25% de los casos revisados no se consideró la debida ejecución de labios transición en mortero elastomérico. El 75% restante de los casos si consideró su uso, pero, el 67% de estos casos se identificó que las dimensiones de su sección transversal son insuficiente acorde a lo establecido, lo que explica la debilidad generada en ambos casos para esta zona de encuentro. Asimismo, el desprendimiento de material en labios de transición (E4.F2.2.) es a consecuencia de un avance en el estado de deterioro de la falla recién mencionada.

Fallas por fisuras en los sellos sobre las unidades de fijación (E4.F3.1.) se observó en un 75% de los casos, lo cual, se ve afectado directamente por el impacto directo que reciben de las cargas de tráfico. Se observó que fijaciones son mayormente selladas por la misma mezcla de

mortero elastomérico, pero su rigidez y bajo espesor de capa aplicado, puede estar siendo incompatible con las necesidades de un medio más flexible.

4.5. Identificación de fallas que afectan la seguridad de operación en puentes.

Se ha identificado fallas en los sistemas de cantoneras que generan riesgos en la seguridad de los usuarios que transitan a través de estas vías que se encuentran afectadas. Dichas fallas implican que los vehículos deban transitar principalmente sobre baches generados y elementos cortopunzantes expuestos.

A continuación, se establece en la tabla 4.6, la identificación de las fallas consideradas que hacen relación a lo planteado en el acápite 4.5.

Tabla 4.6: Fallas que afectan la seguridad de operación.

TIPO DE CANTONERA	CÓDIGO DE FALLA	FALLAS Y DEFECTOS OBSERVADOS
PLACA DESLIZANTE	M2.F2.1	Fisuras y desprendimiento de material en pavimento adyacente a la cantonera.
	M2.F2.3	Aparición de enfierraduras en pavimento.
	M2.F3.2	Corte en placa deslizante (parcial o total)
	M2.F3.3	Corte en pletina de tope
	M2.F3.4	Placa deslizante suelta (parcialmente, falla en soldaduras)
	M2.F3.5	Desprendimiento de placa deslizante (parcial)
	M2.F3.6	Desprendimiento de pletina de tope (parcial) o deformada.
	M2.F3.7	Perfiles Guarda Canto sueltos o removidos.
ELASTOMÉRICA EPDM INFLABLE (JEENE)	E3.F2.2	Deformación en hombro de transición.
	E3.F2.3	Desprendimiento de hombro de transición.
ELASTOMÉRICA REFORZADA	E4.F3.2	Módulo elastomérico dañado: cortes, rasgaduras (parcial o total).
	E4.F3.3	Desprendimiento del módulo elastomérico (parcial o total).
	E4.F4.2	Anclaje doblado.
	E4.F4.3	Anclaje suelto.
	E4.F5.1	Daños en hombro de apoyo o mortero base de nivelación.
	E4.F5.2	Aparecen enfierraduras de tablero.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En cantoneras de placa deslizante se identificó 8 tipos de fallas que afectan la seguridad de operación de un total de 10, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 9 de los 14 puentes inspeccionados.

En cantoneras elastoméricas de EPDM inflable se identificó 2 tipos de fallas que afectan la seguridad de operación de un total de 7, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 10 de los 15 puentes inspeccionados.

En cantoneras elastoméricas reforzadas se identificó 6 tipos de fallas que afectan la seguridad de operación de un total de 10, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 2 de los 8 puentes inspeccionados.

Por lo tanto, se identificó que un 56.7% de los casos analizados, presenta fallas que compromete la seguridad de los usuarios.

4.6. Identificación de fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales en puentes.

Se ha identificado fallas en los sistemas de cantoneras que afectan la durabilidad de elementos estructurales en puentes. Estas fallas implican condiciones de exposición y vulnerabilidad en elementos tales como: tableros o losa, placas de apoyo, pernos de anclaje, vigas y mesas de apoyo principalmente.

A continuación, se establece en la tabla 4.7, la identificación de las fallas consideradas que hacen relación a lo planteado en el acápite 4.6.

Tabla 4.7: Fallas que afectan la seguridad de operación.

TIPO DE CANTONERA	CÓDIGO DE FALLA	FALLAS Y DEFECTOS OBSERVADOS
PLACA DESLIZANTE	M2.F2.1	Fisuras y desprendimiento de material en pavimento adyacente a la cantonera.
	M2.F2.3	Aparición de enfierraduras en pavimento.
	M2.F3.5	Desprendimiento de placa deslizante (parcial)
	M2.F3.7	Perfiles Guarda Canto sueltos o removidos.
ELASTOMÉRICA EPDM INFLABLE (JEENE)	E3.F2.1	Fisuras y/o grietas en hombro de transición.
	E3.F2.3	Desprendimiento de hombro de transición.
	E3.F3.1	Perfil despegado de uno de sus bordes.
	E3.F3.2	Perfil parcialmente desprendido.
	E3.F3.3	Perfil totalmente desprendido.
	E3.F3.4	Daños sobre perfil Jeene: cortes, rasgaduras.
ELASTOMÉRICA REFORZADA	E4.F2.1	Fisuras en labio de transición.
	E4.F2.2	Desprendimiento de labios de transición.
	E4.F3.1	Fisuras, pérdida parcial o total de sellos sobre unidades de fijación.
	E4.F3.2	Módulo elastomérico dañado: cortes, rasgaduras (parcial o total).
	E4.F3.3	Desprendimiento del módulo elastomérico (parcial o total).
	E4.F4.1	Fijaciones aflojadas (tuercas sueltas o ausentes).
	E4.F4.2	Anclaje doblado.
	E4.F4.3	Anclaje suelto.
	E4.F5.1	Daños en hombro de apoyo o mortero base de nivelación.
	E4.F5.2	Aparecen enfierraduras de tablero.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En cantoneras de placa deslizante se identificó 4 tipos de fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales de un total de 10, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 9 de los 14 puentes inspeccionados.

En cantoneras elastoméricas de EPDM inflable se identificó 6 tipos de fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales de un total de 7, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 12 de los 15 puentes inspeccionados.

En cantoneras elastoméricas reforzadas se identificó 10 tipos de fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales de un total de 10, pero respecto de los puentes que poseen al menos una de las fallas mencionadas, se identifican 8 de los 8 puentes inspeccionados.

Por lo tanto, se identificó que un 78.4% de los casos analizados, presenta fallas que afectan la durabilidad de elementos estructurales de los puentes.

Capítulo 5: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA EL MANTENIMIENTO DE CANTONERAS EN PUENTES.

Este capítulo tiene por objetivo dar a conocer las propuestas a estandarizar de las diversas intervenciones necesarias para cada proceso constructivo, de acuerdo a los tipos de fallas más frecuentes en relación a las cantoneras que se han identificado, en puentes que su mantenimiento se encuentra a tuición del MOP.

5.1. Selección y agrupación de fallas que comprende la estandarización.

En relación a los sistemas de cantoneras identificadas como las utilizadas más frecuentemente, se ha determinado estandarizar propuestas de reparación correspondientes a las fallas que resultaron ser las de mayor recurrencia en base a lo observado en los puentes inspeccionados y en relación a los resultados obtenidos en los gráficos 4.2, 4.4 y 4.6 del capítulo anterior, pero, se definen las intervenciones en base al área o elemento afectado del sistema de cantonera al que compromete la falla identificada.

Debido al procedimiento de trabajo en sí mismo, como también, a la zona en la que se ubican, permiten que haya sido posible dar solución a más fallas que se encuentran relacionadas a la falla seleccionada para estandarizar su respectiva propuesta de reparación.

A continuación, se presenta la tabla 5.1 que resume el orden de consideración de fallas para cada una de las 9 propuestas de estandarización, marcando en color azul las fallas elegidas según las gráficas mencionadas y que marcan la relación con el área a reparar, como también, con las demás fallas a las que se relacionan. También, se hace mención al porcentaje de recurrencia de cada falla en relación a la cantidad de puentes que la presentaron.

Respecto de las cantoneras elastoméricas reforzadas, cabe mencionar que se hizo una excepción en el porcentaje de frecuencia de las fallas a considerar, debido a que, luego de la selección que contempla las fallas para la estandarización CE8 (en relación a la zona afectada en común), agrupó a la totalidad de las fallas de mayor frecuencia pero, se consideró interesante de abarcar un caso que puede tener relación a una falla que se puede manifestar a temprana edad desde la puesta en servicio del sistema, si el proceso de auscultación sobre los hombros de apoyo no se ejecutó de manera adecuada, así poder dimensionar el costo de lo que probablemente un proceso constructivo inadecuado genera al corto tiempo o al menos, sin evidenciar daños en el perfil elastomérico y sólo manifestar una falla puntual.

Tabla 5.1: Selección de fallas para estandarizaciones.

Tipo de cantonera	Código de falla	Observación	Porcentaje de recurrencia	Descripción falla a estandarizar	Código Estandarización (CE)
Metálica - Placa deslizante (M2)	M2.F2.1	Fisuras, desprendimiento de material en pavimento aledaño al perfil	64%	Daños en pavimento aledaño a la cantonera	CE1
	M2.F2.2	Pérdida de sellos bituminosos	86%		
	M2.F3.2	Corte en placa deslizante (parcial)	57%	Placa deslizante suelta	CE2
	M2.F3.4	Placa deslizante suelta (falla en soldaduras)	57%		
	M2.F3.5	Desprendimiento de placa deslizante (parcial o total)	50%	Fractura de placa deslizante (con pérdida parcial)	CE3
	M2.F3.3	Corte en pletina de tope	57%	Pletina de tope dañada	CE4
	M2.F3.6	Desprendimiento de pletina de tope (parcial o total)	50%		
Elastomérica - Jeene (E3)	E3.F3.4	Daño en perfil Jeene, cortes o elemento roto	53%	Cortes sobre perfil de EPDM inflable	CE5
	E.3.F3.1	Perfil despegado de uno de sus bordes	60%	Falla por adhesión a la cara de la junta	CE6
	E.3.F3.2	Perfil parcialmente desprendido	20%		
	E.3.F3.3	Perfil totalmente desprendido	13%		
	E3.F2.1	Fisuras, grietas en hombro elastomérico	80%	Daños en hombro de transición	CE7
	E3.F2.2	Deformación de hombro elastomérico	13%		
	E3.F2.3	Desprendimiento de hombro elastomérico	67%		
Elastomérica reforzada (E4)	E4.F2.1	Fisuras en labio de transición	100%	Daño en labio de transición y en sellos, fijaciones sueltas	CE8
	E4.F2.2	Desprendimiento en labio de transición	50%		
	E4.F3.1	Fisuras, pérdida parcial o total de sellos sobre fijaciones	75%		
	E4.F4.1	Tuercas aflojadas	63%		
	E4.F4.3	Elemento de anclaje suelto	25%	Deterioro en hombro de apoyo	CE9
	E4.F5.1	Daños en cantos de tablero	25%		

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cabe aclarar que, respecto de la falla M2.F3.1., en vista de los antecedentes planteados en el capítulo anterior, del 93% de los casos que presentaron óxido en los perfiles, el 92% de ellos solo se presenta como una condición de riesgo que se ve frenada y en disminución con el tráfico vehicular, y que, además no ha afectado estructuralmente a los perfiles, por lo cual, se ha descartado de ser considerada como un caso de falla particular.

5.2. Estandarización de procesos constructivos.

Se propondrán soluciones constructivas para reparaciones del sistema de junta ya empleado, y no así, proponer otro sistema que pueda resultar más adecuado para las condiciones particulares de cada puente y sus solicitudes actuales. Proponer un sistema de junta implica un estudio especial y focalizado acorde a las condiciones de cada puente, ya que las variables de diseño generan condiciones particulares de trabajo, lo cual, escapa del enfoque del presente estudio que es proponer soluciones estandarizadas de mantenimiento en condiciones generales, pero, cuidando de conservar la particularidad del diseño existente, en etapas tempranas de sus fallas identificadas, antes que la intervención tardía implique la sustitución completa del dispositivo.

Consideraciones generales.

- Para todos los procesos constructivos que se presentarán en adelante, se considera previamente realizar la debida segregación del área de trabajo, instalación de señalizaciones de la obra, de los puntos de control de tránsito y toma de control del tránsito en ambos sentidos, manteniendo de día y de noche la señalización y medidas adecuadas a la naturaleza de los trabajos a realizar, de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones como único organismo rector en materia de señalización (ley N°18.059 y ley de tránsito art.99).
- **Corte delimitador de área de demolición** en pavimentos de puentes, se podrá efectuar mediante sierra circular o herramienta similar hasta una profundidad no mayor a 20 mm, salvo que existan armaduras de refuerzo a menor profundidad (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.3.a, edición 2022).
- **Demolición de material dañado** se realizará mediante herramientas manuales y/o martillo demoledor (peso no mayor a 7 kg) hasta la profundidad necesaria determinada por la auscultación, encontrando hormigón sano, sin fisuras, aún más abajo del nivel de las armaduras si fuere necesario, debiéndose dejar paredes verticales y un mínimo de irregularidades en las caras del cajón (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.5.a, edición 2022). La auscultación mediante un martillo o una barra de acero se basa en el tipo de sonido de la respuesta al golpe suave efectuado sobre las superficies de hormigón, si suena metálico significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones, si es apagado o suena a hueco, el hormigón se encuentra deteriorado (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.0303, edición 2022).
- **El desnivel máximo tolerable** entre la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.3.a, edición 2022).

La estandarización del proceso constructivo que se propone realizar estará estructurada en su contenido de acuerdo al formato tipo identificado en el Manual de Carreteras (volumen 7) para abarcar las operaciones de mantenimiento, constituyéndose de lo siguiente:

- 1- **Descripción y alcances.**
- 2- **Materiales.**
- 3- **Proceso constructivo.**

5.2.1. Cantoneras metálicas (CE1, CE2, CE3 y CE4).

De acuerdo a la tabla 5.1, se considera la elaboración de las propuestas de estandarización para sistemas de placa deslizante, para el cual, se contemplan las propuestas CE1, CE2, CE3 y CE4.

Consideraciones generales.

- A modo de consideración general para juntas metálicas, ante la presencia de pérdida o soltura de perfiles guarda canto, se plantea (sin entrar a especificar otras opciones, ni en su diseño) el reemplazo por alguna de las opciones en juntas elastoméricas. Lograr un adecuado anclaje por la cara superior del tablero, no es el mayor inconveniente, sino que, lograr aquel anclaje por la cara vertical (cavidad entre tableros). El anclaje vertical del perfil guarda canto le otorga estabilidad a este elemento contrarrestando los esfuerzos que lo inducen a movimientos rotacionales por efecto del golpeo de las ruedas. Lograr aquella consolidación, implicaría trabajos invasivos de remoción de material (hormigón), con el presente cuidado de no pasar a cortar armaduras propias de la estructura del tablero, implicando altos costos a considerar. Además de los costos de materiales, se pone énfasis en los costos de tiempo que implica llevar a cabo dicha actividad, tanto para el costo directo en la intervención (obra), como lo es también, considerar que estas intervenciones de mantenimiento se deben ejecutar en el menor tiempo posible propendiendo a poder habilitar la vía cuanto antes a su demanda de tránsito habitual, y para ello, las soluciones en juntas elastoméricas ofrecen mejores oportunidades en rapidez para la ejecución de las labores de mantenimiento necesarias y siendo menos destructivas en las intervenciones a requerir.
- **Remoción de sello bituminoso.** Se removerán los restos de sello bituminoso que aún se encuentren adheridos al borde de la cantonera, mediante esmerilado y uso de herramientas manuales. No usar herramientas de demolición o similares que puedan dañar la estabilidad de la cantonera y del hormigón en el borde del tablero.
- **Aplicación de sello bituminoso.** Se deberá cumplir rigurosamente con las condiciones de preparación y aplicación establecidas por el fabricante del mastic asfáltico, preparar la mezcla

en una caldera de doble cámara, hasta alcanzar el rango de temperatura de aplicación establecida por el fabricante. Se deberá tener especial cuidado de estar en conocimiento de los tiempos y temperaturas de sobrecalentamiento, si estos son superados, afectará severamente sus propiedades y se deberá desechar la mezcla siendo necesario preparar una nueva para su aplicación en el sello.

Alcanzada la temperatura de aplicación de la mezcla, se deberá fundir mediante soplete el material solidificado en la vía de salida y se liberará considerando una cantidad adicional para ser vertido en un recipiente a desechar, así, asegurar de solo verter mezcla fresca (no recalentada).

5.2.1.1. Placa deslizante (M2).

De acuerdo a lo mencionado en el acápite 5.1., las estandarizaciones que se contemplan para cantoneras de placa deslizante, serán las siguientes ilustrándose en la figura 5.1:

CE1: Daños en pavimento aledaño a la cantonera.

CE2: Soltura en placa deslizante a causa de daños por fisuras en soldaduras de filete y de tapón, y también se considera la probabilidad de fisura transversal parcial o total (sin pérdida de placa).

CE3: Pérdida de placa deslizante (parcial a lo largo de la junta).

CE4: Deformación, corte transversal, o perdida parcial de pletina de tope.

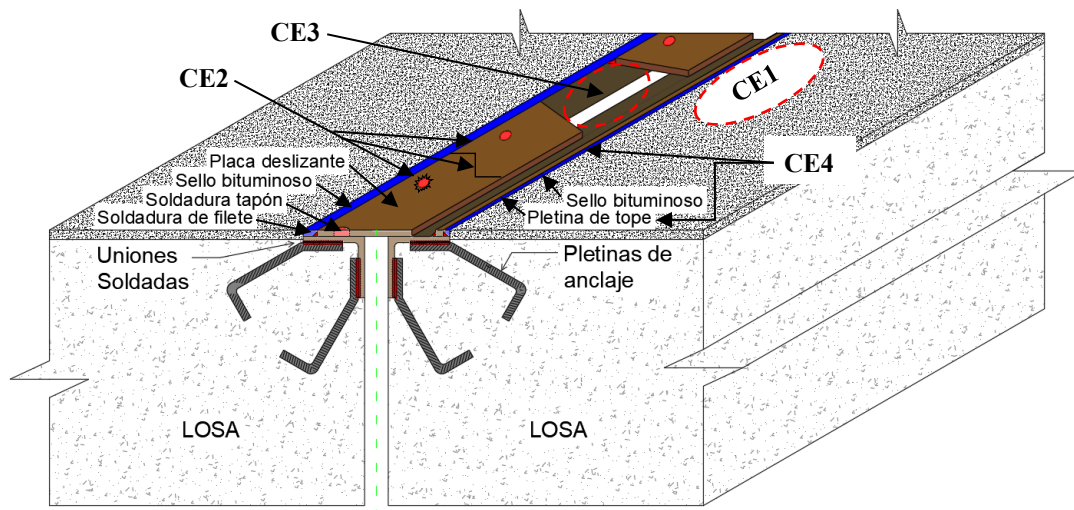


Figura 5.1: Esquema representación general de fallas en M2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A) Estandarización proceso constructivo CE1.

1.- Descripción y alcances.

Ante la presencia de fragmentación y desprendimiento de concreto adyacente a las cantoneras, en protección al perfil guarda canto y estabilidad de sus anclajes, se propone corregir dicho deterioro removiendo todo el material dañado que determine la auscultación y se fortificará con un borde de transición (*blockout*) en mortero polimérico, siendo este, un cajón de sección rectangular que se proyectará adosado al perfil metálico de las cantoneras. Se considera su extensión en un ancho mínimo de 250 mm respecto del borde en el encuentro entre cantonera y pavimento, lo anterior, en virtud de proteger desde la superficie la extensión teórica de los anclajes (desde el borde hacia el centro del tablero) y estabilidad del hormigón que comprende esta zona. El largo del *blockout* estará definido por la extensión del área dañada y la profundidad será determinada por la auscultación según los requerimientos particulares de cada caso de falla. Ver figura 5.2.

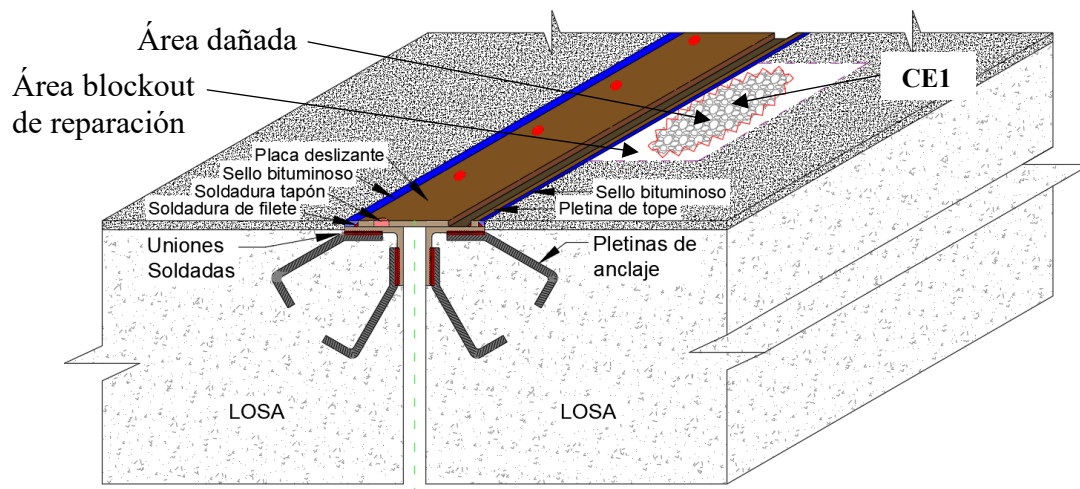


Figura 5.2: Esquema representación general de falla para estandarización CE1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Mortero de reparación. Se propone emplear un mortero polimérico que deberá alcanzar una resistencia mínima de 35MPa a la compresión (Manual de Carreteras, volumen N°7, sección 7.307.5.a, edición 2022), material a base de resinas epóxicas altamente resistente a: desgaste e impactos, impermeable al agua, a la intrusión de agentes químicos, reduciendo al mínimo la intrusión de cloruro, de endurecimiento rápido y no susceptible a retracción, en caso

contrario, considerar aditivo expansor dosificado (según especificaciones del fabricante de cada producto) para que el relleno no presente desniveles superiores a 3mm. Considerar temperatura de servicio de al menos -10°C a 40°C .

Puente adherente. Se utilizará un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, el cual, deberá ser estrechamente compatible con el mortero polimérico de reparación a utilizar.

Sello Bituminoso. Se propone emplear sellante de tipo mastic asfáltico modificado con polímeros, de aplicación en caliente, que, conforme a lo especificado en Manual de Carreteras, volumen N°7, secciones 7.304.0102 y 7.305.01 (edición 2022), cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C , 100g, 5s, 10-1mm: máx.60, según Método 8.302.3
- Ductilidad, 0°C , mm: Mín. 20, según método 8.302.8
- Filler, porcentaje en peso: máx. 25%.
- Punto de ablandamiento, $^{\circ}\text{C}$: mín. 58°C , según método 8.302.16.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Trazado. Se propone un *blockout* de ancho mínimo 250 mm y su largo será determinado según la extensión de la falla (variable en cada caso). En base a ello, se marcará el trazado perimetral del área a cortar y demoler. Ver figura 5.3.

3.2.- Corte y demolición. Se realizará un corte perimetral a través del trazado realizado, se propone ejecutar mediante esmeril angular de 4.1/2" ya que sus dimensiones permitirán uno más controlado y preciso, dada la baja profundidad de corte y desplazamiento reducido.

La demolición de material dañado se realizará mediante herramientas manuales y/o martillo demoledor hasta la profundidad necesaria determinada por la auscultación. Obedeciendo a condiciones generales de corte y demolición establecidas en acápite 5.2. Ver figura 5.3.

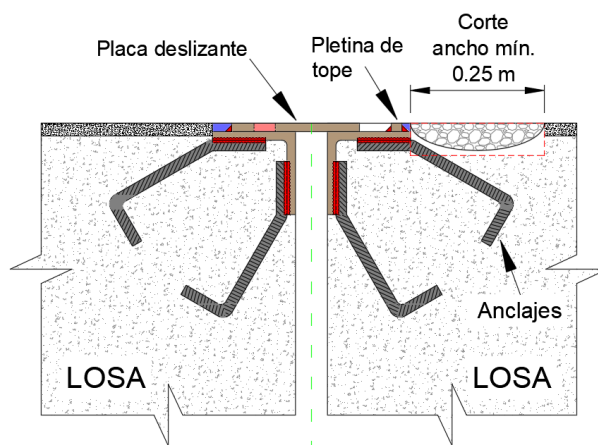


Figura 5.3: Corte transversal de cantonera y zona de falla.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.3.- Limpieza, remoción de restos sello bituminoso e imprimación de superficie. Una vez retirado el material resultante de la demolición, se limpiarán todas las caras del cajón mediante barrido de aire comprimido para remover todo el material residual fino depositado en su interior.

Se removerán los restos de sello bituminoso que aún se encuentren adheridos al borde de la cantonera, de acuerdo a lo establecido en condiciones generales de acápite 5.2.1.

Preparación y aplicación del puente adherente se realizará en estricto cumplimiento de la dosificación y condiciones de aplicación (estado de superficies, clima, humedad, entre otros.) según especifique el fabricante del producto, el cual, debe ser estrechamente compatible con el mortero epóxico con el que se rellenará el *blockout*. Su aplicación se realizará mediante brocha con el fin de cubrir todas las irregularidades de las superficies; se debe considerar su aplicación como una película uniforme y no permitir formación alguna de charcos del producto, en caso, se deberán eliminar restregando con la brocha y esparciendo uniformemente.

3.4.- Aplicación mortero polimérico. Es importante de tener presente que el imprimante se encuentre aún fresco al tacto al momento de verter la mezcla de mortero (tiempo especificado por el fabricante).

Preparación y aplicación del mortero polimérico se realizará en estricto cumplimiento de la dosificación y condiciones de aplicación especificadas por el fabricante, en general, requieren una temperatura mínima de aplicación sobre los 5°C. Se deberán mezclar los compuestos A+B+C respetando los tiempos y método de mezclado especificados por el fabricante.

Su colocación se puede realizar mediante espátula o llana, alisando y compactando al mismo tiempo. Identificar el espesor máximo de aplicación para determinar las capas de aplicación, o bien, la elección del tipo de mortero a utilizar.

De acuerdo al método de colocación, no requiere ser vibrado. Al no ser un producto cementicio, no especifican requerir un tratamiento de curado.

Una vez nivelado con la superficie de calzada y perfil de junta, finaliza la colocación. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm.

3.5.- Aplicación de sello bituminoso. Finalmente, considerar su aplicación a lo largo del tramo reparado, cubriendo una sección aproximada de 25x6mm. Preparación y aplicación mediante establecidos en consideraciones generales de aplicación de sello bituminoso en acápite 5.2.1. Ver proceso constructivo terminado en figura 5.4.

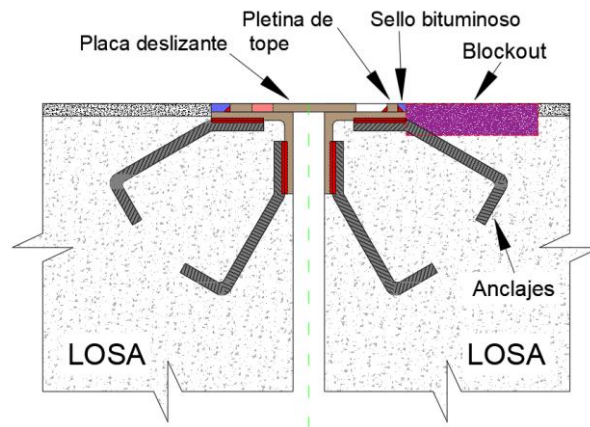


Figura 5.4: Corte transversal de cantonera y falla reparada para CE1.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

B) Estandarización proceso constructivo CE2.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se genere soltura en la placa deslizante a causa de fisuras en las soldaduras que unen la placa al perfil guarda canto base.

Se propone remover todo el cordón de soldadura posterior afectado (tipo filete) y, perfilar con cortes en V a 60° las fisuras en soldaduras de tapón y posibles fisuras transversales. Finalmente se repondrán nuevos cordones de soldadura, de filete en la parte posterior y, unión en V simple en los encuentros a tope. Ver figura 5.5.

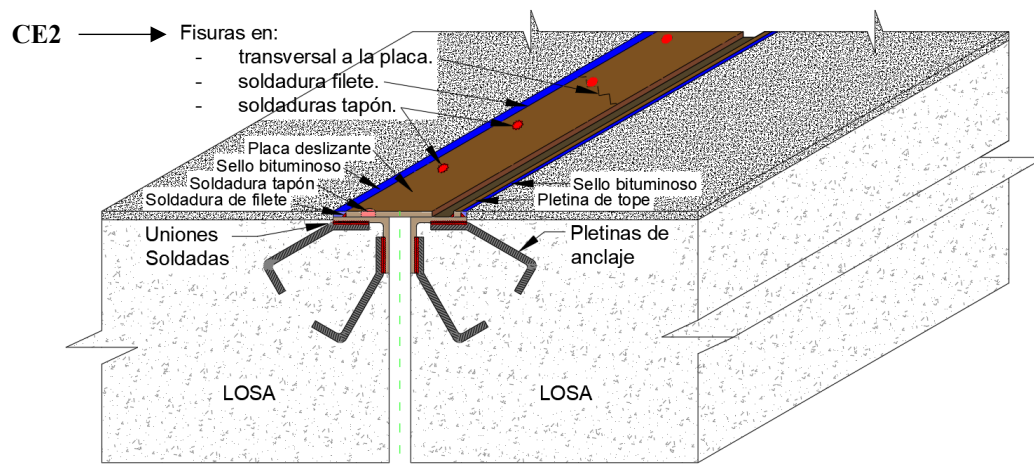


Figura 5.5: Esquema representación general de fallas para CE2.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Soldadura. Electrodo en calidad E6011 5/32", en su calidad ajustándose a las especificaciones de AWS.

Sello Bituminoso. Se propone emplear sellante de tipo mastic asfáltico modificado con polímeros, de aplicación en caliente, que, conforme a lo especificado en Manual de Carreteras, Volumen N°7, secciones 7.304.0102 y 7.305.01 (edición 2022), cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C, 100g, 5s, 10-1mm: máx.60, según Método 8.302.3
- Ductilidad, 0°C, mm: Mín. 20, según método 8.302.8
- Filler, porcentaje en peso: máx. 25%.
- Punto de ablandamiento, °C: mín. 58°C, según método 8.302.16.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Remoción de sello bituminoso y soldadura posterior dañada, perfilado de fisuras en soldaduras de tapón. Mediante esmeril angular se deberá retirar todo el cordón de soldadura de filete que se encuentre dañado, previo a ello, se deberá remover el sello bituminoso que recubre a dicha soldadura a lo largo del tramo afectado (condiciones generales acápite 5.2.1). Se perfilará en V a 60° todas las fisuras que se encuentren por la cara superior de la placa deslizante, considerar una abertura tal en el perfilado que permita a la soldadura penetrar el espesor total de la placa. Ver figura 5.6.

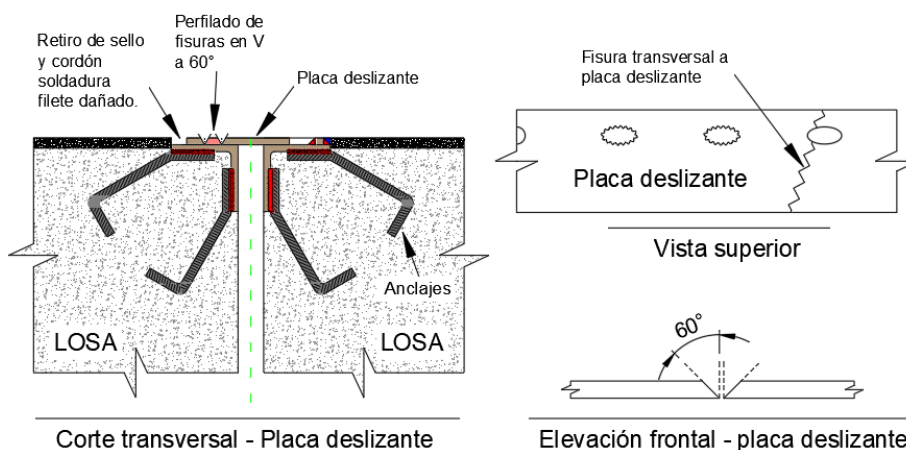


Figura 5.6: Corte transversal y vista superior, perfilado de fisuras.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.2.- Reposición de soldaduras. Se realizarán por medio de soldadura al arco, con electrodos E6011 (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.3.a, edición 2022) 5/32" considerando espesores a soldar entre 4 a 10mm. Se ejecutará el cordón de soldadura continua tipo filete, ejecutando cordones alternados de longitud 150 mm y regresar completando el cierre

en la misma alternación. Las uniones soldadas en la cara superior de la pletina se desarrollarán mediante unión a tope en V tipo simple, considerando que la soldadura penetre el espesor total de la placa.

Para dar terminación a las uniones soldadas, se deberá hacer remoción de la escoria generada y, desbaste en la cara superior de la placa aplicado sobre los resaltes e irregularidades, logrando una superficie lisa y uniforme.

3.3.- Aplicación de sello bituminoso. Considerar su aplicación a lo largo del tramo reparado, cubriendo una sección aproximada de 25x6mm. Preparación y aplicación mediante criterios establecidos en consideraciones generales de aplicación de sello bituminoso en acápite 5.2.1. Ver figura 5.7.

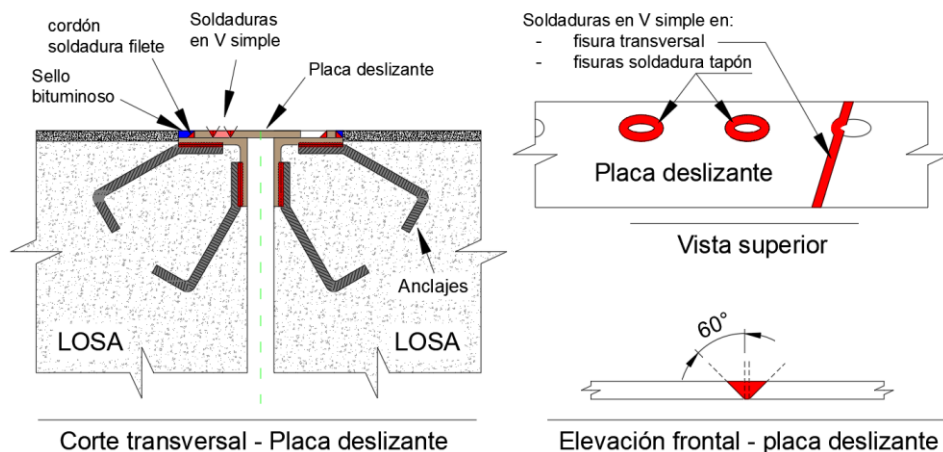


Figura 5.7: Corte transversal y vista superior, soldaduras ejecutadas.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

C) Estandarización proceso constructivo CE3.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte pérdida parcial de la placa deslizante a lo largo de la junta.

Se propone remover todos los restos de soldaduras que han quedado aferrados al perfil guarda canto base, se corregirán las irregularidades en los extremos de fractura de la placa por cortes transversales en V a 60°, finalmente, se repondrá una placa nueva según largo requerido, conservando iguales dimensiones de origen en sección transversal y distribución de soldaduras de tapón, efectuando las soldaduras correspondientes y aplicación de sello bituminoso. Ver figura 5.8.

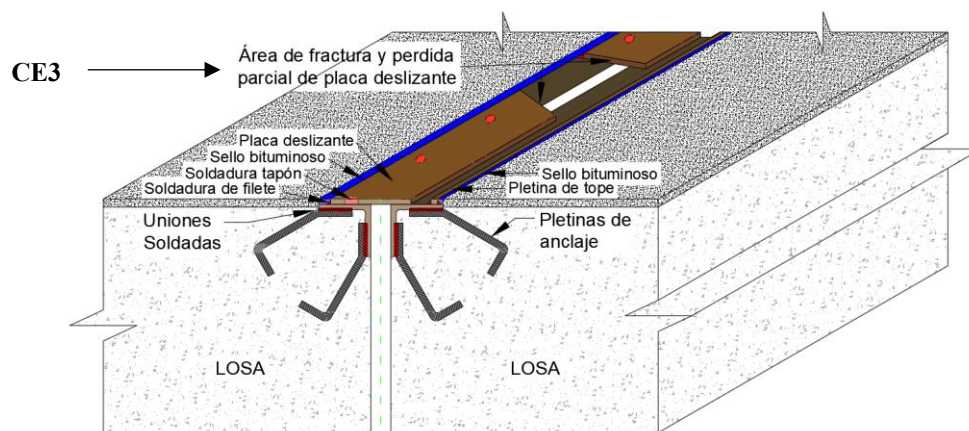


Figura 5.8: Esquema representación general de fallas.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Soldadura. Electrodo en calidad E6011 5/32", en su calidad ajustándose a las especificaciones de AWS.

Placa de acero. Se utilizará placa de acero en calidad A37-24ES, dimensiones de iguales características en sección transversal a la existente y largo según la proyección del tramo afectado.

Sello Bituminoso. Se propone emplear sellante de tipo mastic asfáltico modificado con polímeros, de aplicación en caliente, que, conforme a lo especificado en Manual de Carreteras, Volumen N°7, secciones 7.304.0102 y 7.305.01 (edición 2022), cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C, 100g, 5s, 10-1mm: máx.60, según Método 8.302.3
- Ductilidad, 0°C, mm: Mín. 20, según método 8.302.8
- Filler, porcentaje en peso: máx. 25%.
- Punto de ablandamiento, °C: mín. 58°C, según método 8.302.16.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Corte y remoción de restos de soldadura, remoción de sello bituminoso. Mediante esmeril angular se deberá retirar todo el cordón de soldadura de filete que se encuentre aún adherido al perfil guarda canto a lo largo del tramo de falla, previo a ello, se deberá remover el sello bituminoso que recubre a dicha soldadura a lo largo del tramo afectado (condiciones generales acápite 5.2.1). Los restos de soldadura de tapón se cortarán y se desbastarán hasta lograr una superficie lisa sobre el perfil guarda canto.

3.2.- Corte de extremos irregulares. Los extremos irregulares que dejó la fractura de la placa, se corregirán realizando cortes transversales en ambos extremos, lo más próximo a la falla evitando en lo posible cortar otra unidad adicional de soldadura de tapón y, se perfilarán en V a 60°. Ver figura 5.9.

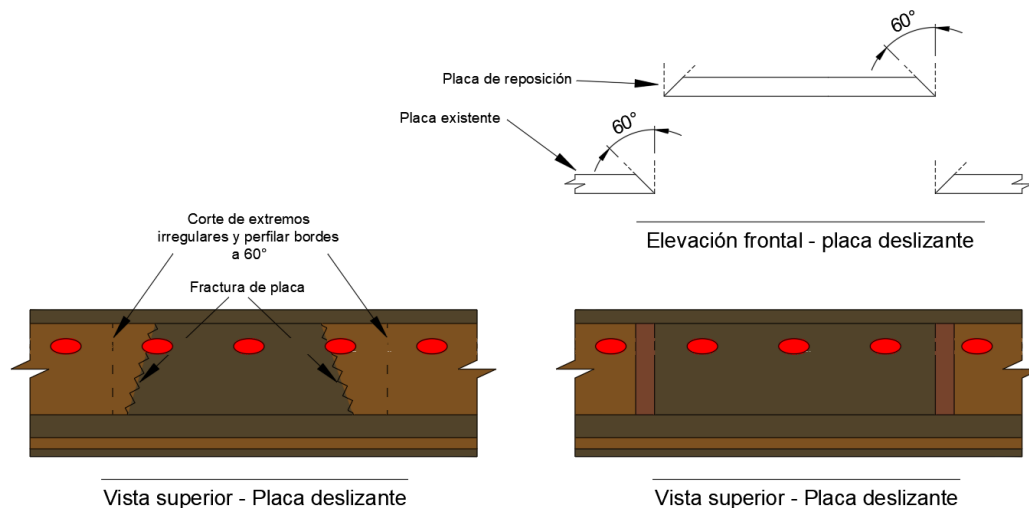


Figura 5.9: Corte transversal y vista superior, perfilado de cortes.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.3.- Reposición de placa deslizante. Se fabricará la placa a restituir en calidad y dimensiones de acuerdo a la placa existente en sitio, y sus perforaciones para soldaduras de tapón, manteniendo la misma distancia de separación entre sí de origen. Las uniones soldadas se realizarán por medio de soldadura al arco, con electrodos E6011 (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.3.a, edición 2022) 5/32" considerando espesores entre 4 a 10mm (Indura). Se ejecutará el cordón de soldadura continua tipo filete, ejecutando cordones alternados de longitud 150 mm y regresar completando el cierre en la misma alternación. Las uniones en soldadura de tapón en la cara superior de la pletina, se desarrollarán mediante soldadura de filete en todo el contorno, haciendo retiro de escoria por cada capa de relleno hasta completar a nivel de superficie de la placa.

El proceso de soldadura requerirá de remoción de la escoria generada y de desbaste en la cara superior de la placa, dejando una superficie lisa, libre de resaltes e irregularidades.

3.4.- Aplicación de sello bituminoso. Considera su aplicación a lo largo del tramo reparado, cubriendo una sección aproximada de 25x6mm. Preparación y aplicación mediante criterios establecidos en consideraciones generales de aplicación de sello bituminoso en acápite 5.2.1. Ver figura 5.10.

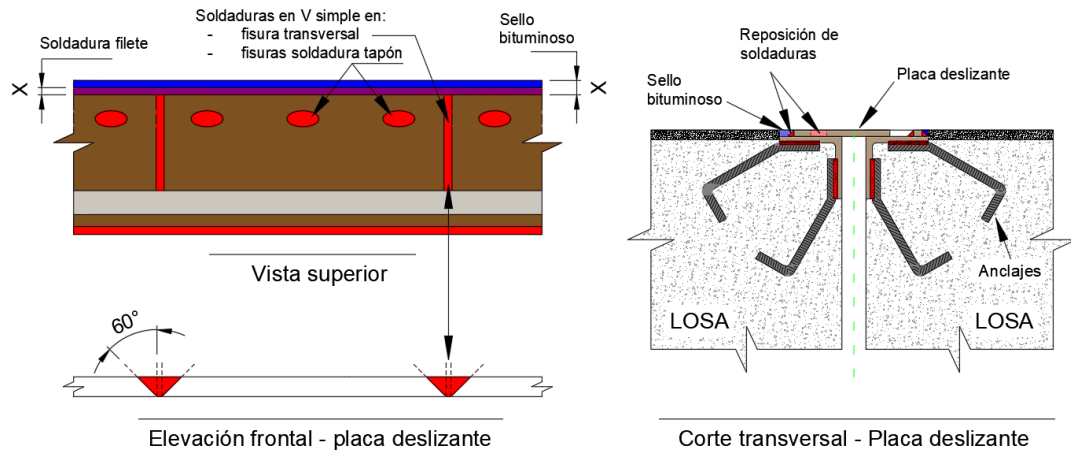


Figura 5.10: Corte transversal y vista superior, soldaduras ejecutadas para CE3.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

D) Estandarización proceso constructivo CE4.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte daños por deformación, corte o pérdida parcial de pletina de tope.

Previo al inicio del tramo de falla, se propone cortar transversalmente en ambos extremos, remover todos los restos de soldaduras que han quedado aferrados al perfil guarda canto base (ambos lados de la pletina), Los extremos de la pletina se perfilarán con cortes transversales en V a 60°, finalmente, se repondrá una nueva pletina según largo requerido, conservando iguales dimensiones de origen en sección transversal, efectuando las soldaduras correspondientes (ambos lados) y aplicación de sello bituminoso (lado de encuentro con pavimento). Ver figura 5.11.

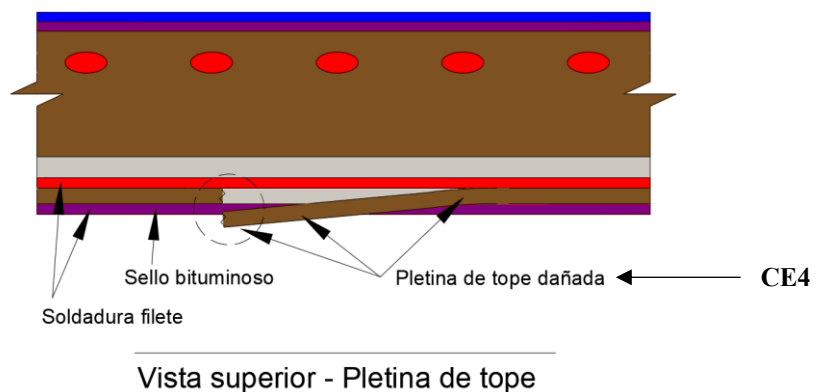


Figura 5.11: Vista superior de falla para CE4. Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Soldadura. Electrodo en calidad E6011 5/32", en su calidad ajustándose a las especificaciones de AWS.

Pletina de acero. Se utilizará pletina de acero en calidad A37-24ES, dimensiones de iguales características en sección transversal a la existente y largo según la proyección del tramo afectado.

Sello Bituminoso. Se propone emplear sellante de tipo mastic asfáltico modificado con polímeros, de aplicación en caliente, que, conforme a lo especificado en Manual de Carreteras, Volumen N°7, secciones 7.304.0102 y 7.305.01 (edición 2022), cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C, 100g, 5s, 10-1mm: máx.60, según Método 8.302.3
- Ductilidad, 0°C, mm: Mín. 20, según método 8.302.8
- Filler, porcentaje en peso: máx. 25%.
- Punto de ablandamiento, °C: mín. 58°C, según método 8.302.16.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Definir tramo dañado a reemplazar. Se cortará transversalmente en ambos extremos previo al tramo afectado, punto que estará definido donde visualmente ya no se observe deformación alguna en la pletina de tope.

3.2.- Corte y remoción de restos de soldadura, remoción de sello bituminoso. Mediante esmeril angular se deberá retirar todo el cordón de soldadura de filete (ambos lados de pletina) que se encuentre aún adherido al perfil guarda canto a lo largo del tramo de falla, previo a ello, se deberá remover el sello bituminoso que recubre al cordón de soldadura a lo largo del tramo afectado que limita con el pavimento (condiciones generales acápite 5.2.1).

3.3.- Perfilado de extremos. Los extremos sanos de la pletina en sitio, se perfilarán realizando cortes transversales en V a 60° en ambos extremos. Ver figura 5.12.

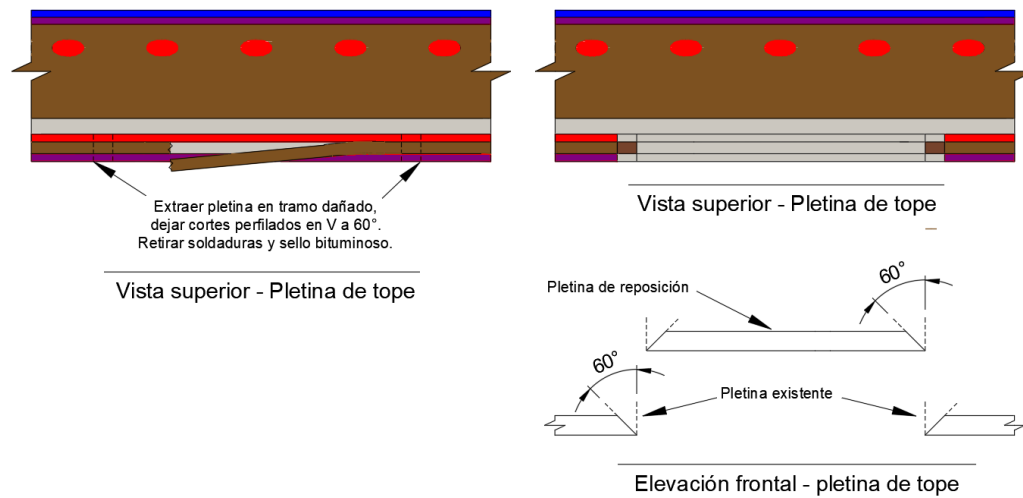


Figura 5.12: Vista superior y corte transversal, perfilado de cortes.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.- Reposición de pletina de tope. Se fabricará la pletina a restituir en calidad y sección de acuerdo a la existente en sitio, considerando los extremos de la pletina con rebajes en V a 60°. Las uniones soldadas se realizarán por medio de soldadura al arco, con electrodos E6011 (Manual de Carreteras, volumen N°7, sección 7.307.3.a, edición 2022) 5/32" considerando espesores entre 4 a 10mm. Se ejecutarán cordones de soldadura continua tipo filete en ambos lados de la pletina, ejecutando cordones alternados de longitud 150 mm y regresar completando el cierre en la misma alternación. Las uniones soldadas en los extremos se desarrollarán mediante unión a tope en V tipo simple, considerando que la soldadura penetre el espesor total de la pletina.

El proceso de soldadura requerirá de remoción de la escoria generada y de desbaste en la cara superior de la pletina, dejando una superficie lisa, libre de resalte e irregularidades.

3.5.- Aplicación de sello bituminoso. Considera su aplicación a lo largo del tramo reparado y lado de la pletina que limita con el pavimento, cubriendo una sección aproximada de 25x6mm. Preparación y aplicación mediante criterios establecidos en consideraciones generales de aplicación de sello bituminoso en acápite 5.2.1. Ver figura 5.13.

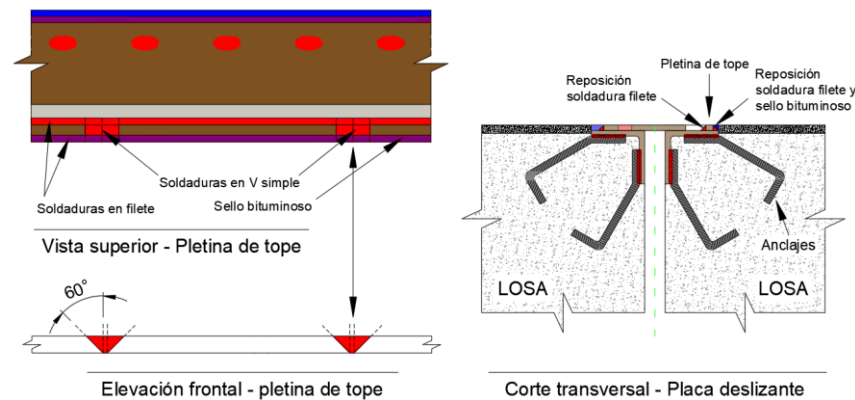


Figura 5.13: Vista superior y corte transversal, soldaduras ejecutadas.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

5.2.2. Cantoneras elastoméricas (CE5, CE6, CE7, CE8 y CE9).

De acuerdo a la tabla 5.1, se considera la elaboración de las propuestas de estandarización para sistemas de cantoneras elastoméricas de EPDM inflable (Jeene) y elastoméricas reforzadas, para las cuales, se contemplan las propuestas CE5, CE6 y CE7 para el primer sistema elastomérico y, las propuestas CE8 y CE9 para el segundo.

5.2.2.1. EPDM inflable – Jeene (E3).

De acuerdo a lo mencionado al inicio del capítulo, las estandarizaciones que se contemplan para cantoneras del tipo sello de EPDM inflable - Jeene, serán las siguientes ilustrándose en la figura 5.14:

CE5: Daños en perfil Jeene por cortes o rasgaduras.

CE6: Problemas de adhesión a la cara de la junta.

CE7: Daños en hombro de transición (*blockout*).

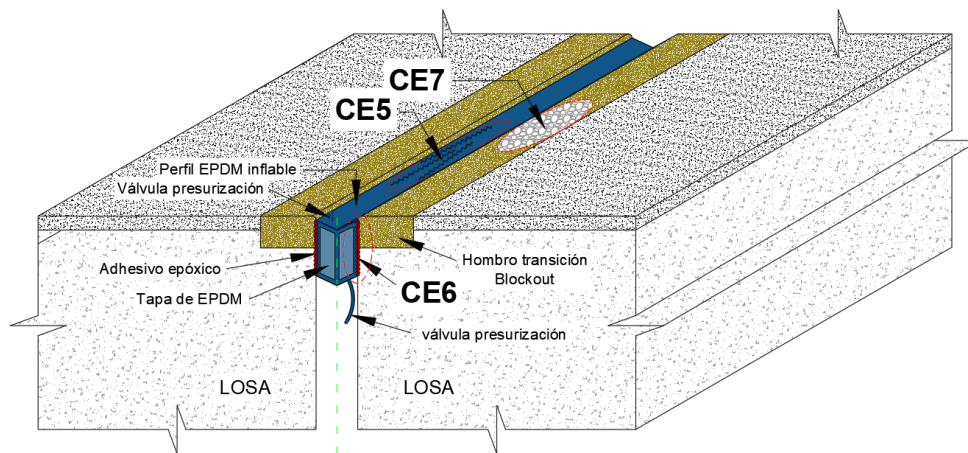


Figura 5.14: Esquema general de fallas para E3. Fuente: Elaboración propia, 2021.

Generalidades.

Como bien se ha mencionado anteriormente, para este sistema de junta, daños en el hombro de transición en cuanto a fisuras, grietas, desprendimiento y deformación en el borde. afectan directamente la estabilidad del perfil. Para el sistema Jeene, su único medio de sujeción está dado por un trabajo bien logrado en la adhesión del pegamento epóxico a las acanaladuras del perfil y a las paredes de los tableros a los que se adhiere. Por ello, una falla en el hombro de transición implica además de esta reparación, corregir el despegue ocasionado en el borde relacionado con la falla y, en el borde del lado contrario, aunque éste se encuentre firmemente adherido. Para lograr la adherencia adecuada, es necesario presurizar el perfil durante las horas que sean requeridas para el curado de la pasta adhesiva y, además, lograr la remoción total del pegamento antiguo adherido al perfil y en las paredes de los tableros. La segunda condición es la que más compromete la necesidad de extraer el perfil en el tramo de falla (retiro parcial), sellar los extremos, preparar las superficies (acanaladuras del perfil Jeene y caras del tablero) retirando todo resto de pegamento antiguo, para posteriormente hacer la instalación de forma correcta (considerando que el perfil se encuentre sano).

E) Estandarización proceso constructivo CE5.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte daños en la superficie del perfil jeene por cortes o rasgaduras.

Se propone la reparación del perfil mediante vulcanizado en frío sobre toda el área dañada, así, salvaguardar su condición de sello e impedir oportunamente el ingreso de escombros al interior del perfil, propendiendo a la conservación del mismo. Ver figura 5.15.

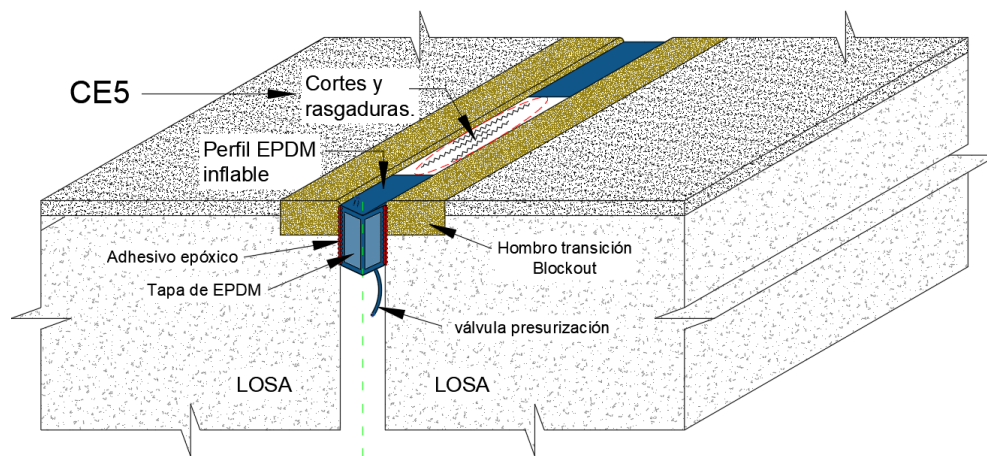


Figura 5.15: Esquema general de fallas para CE5. Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Vulcanizado en frío. Conjunto que compuesto por un acondicionador de superficie + elastómero de vulcanizado (base + solidificador), logren cumplir los requisitos técnicos del perfil de EPDM según los siguientes:

- Dureza shore A: 60 a 70.
- Elongación hasta ruptura (%): 350 mínimo.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Limpieza de superficie. Primeramente, se limpiará haciendo retiro de los escombros acumulados sobre el perfil, aprovechando esta instancia, se recomienda realizar la remoción de escombros en todo el largo de la junta y en todas las juntas presentes en el puente. Mediante desengrasante industrial, se deberá limpiar toda la superficie a reparar.

3.2.- Acondicionamiento de superficie. Se deberá realizar un desbaste abrasivo sobre toda la superficie a reparar con el fin de lograr una superficie áspera. Idealmente por medio de herramienta eléctrica con grata plana de acero ondulado para esmeril angular de 4.1/2", o bien, para áreas pequeñas manualmente mediante cepillo de acero restregando en todos los sentidos. La presión de desbaste deberá generar aspereza superficial penetrando a una profundidad no mayor a 2 - 3 mm, por lo cual, la presión de desbaste mediante herramienta eléctrica deberá ser mínima y muy controlada.

Retirar todo el material suelto ocasionado y aplicar acondicionador de superficie en estricto cumplimiento con indicaciones de fabricante. Es un producto de un solo componente que se aplica mediante brocha de pelo corto dejando una delgada película sobre toda la superficie a reparar.

3.3.- Aplicación de elastómero de vulcanizado en frío. El acondicionador deberá estar seco al tacto (tiempo que especifique el fabricante en relación a la temperatura y humedad relativa, aproximadamente 20 minutos a 20°C) para la aplicación del elastómero de vulcanizado. Se deberá dosificar los compuestos A y B y aplicar en estricto cumplimiento a las indicaciones del fabricante, como también, su tiempo de secado necesario para la puesta en servicio. Espesor de reparación 4 - 5 mm.

A modo de referencia se plantea el paso a paso de la preparación y aplicación del elastómero de vulcanizado en frío, proponiendo el uso de Belzona 2111, el cual, cumple satisfactoriamente los requisitos de compatibilidad de dureza y elongación con el perfil Jeene:

- Dimensionar la tela de refuerzo Belzona 9341, acorde al área a reparar.
- Una vez que el acondicionador de superficie Belzona 2911 haya secado al tacto, se podrá proceder a aplicar Belzona 2111, por ello, es que no se recomienda efectuar la preparación de este último antes de contar con la superficie lista para aplicar.
- Belzona 2111 se prepara y aplica de la siguiente manera:
 - a- Verter el contenido de la base en el cuenco de mezclas suministrado.
 - b- Agitar el envase del solidificador y verter sobre la base en la unidad de mezclas.
 - c- Inmediatamente mezclar ambos productos durante al menos 2 minutos y enseguida dejar reposar hasta que se forme un gel. Luego de efectuar este paso no se puede mezclar más contenido sobre el que se encuentra en reposo y se debe utilizar todo el material generado dentro de los plazos proporcionados por el fabricante en relación a la temperatura ambiente. Por ejemplo: a 25 °C, una vez efectuada la mezcla se podrá utilizar todo el material dentro de un plazo de 12 minutos a contar desde la formación del gel.

- d- Aplicar mediante espátula plástica suministrada. Aplicar una primera capa de 2 mm, humedecer completamente la tela de refuerzo a instalar (en Belzona 2111) e instalar sobre la primera capa aplicada. Terminar de aplicar el material restante sobre la superficie cubriendo la tela de refuerzo hasta alcanzar un espesor total de aproximadamente 4 - 5mm.

Belzona 2111 a una dosificación 3.32:1 la relación base + solidificador, proporciona un rendimiento total de 0.183m² el kit de 500grs (en espesor de 2.5mm).

F) Estandarización proceso constructivo CE6.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte falla por adhesión a la cara de la junta, es decir, despegue del perfil de uno o ambos bordes de tablero.

Para ello, se propone realizar un corte transversal en ambos extremos previo al inicio de la falla, retirar el perfil, remover los restos de adhesivo aún adheridos a las paredes de ambos tableros y reponer el tramo de falla con un nuevo perfil Jeene. Ver figura 5.16.

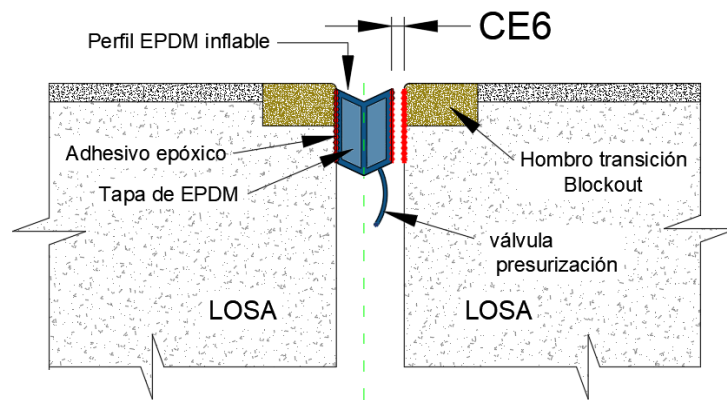


Figura 5.16: Corte transversal, perfil despegado en caso CE6.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Perfil EPDM Jeene. Se deberá considerar conservar igual serie y dimensiones del perfil puesto en sitio de falla.

Adhesivo epóxico. Considerar kit propuesto por fabricante del sistema de junta, verificando cumplimiento de pruebas físicas para sello de neopreno inflable conforme a los siguientes métodos de ASTM en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Propiedades físicas para adhesivo epóxico de montaje.

Propiedades físicas	Método ASTM	Requerimientos
Resistencia a la tracción	D638	3.500 a 4.000 psi mín.
Compresión axial	D 695	8.000 psi mín.
Vida en pote	D 2471	40 minutos mín. a 25°C.
Punto de inflamabilidad	D 56	> 65.5°C
Resistencia a la tracción (24hrs)	D 638	3.000 psi mín.
Compresión axial (24hrs)	D 695	6.500 psi mín.

Fuente: Watson Bowman Acme, 2023.

Accesorios de sello y presurización perfil Jeene. Kit de válvula EPDM de presurización, tapas de EPDM, pegamento para EPDM.

Productos de limpieza. Emplear Xileno solvente industrial para limpieza y remoción de pasta de adhesivo epóxico que se emplea para adherir el perfil Jeene a las caras del tablero.

Emplear metil etil cetona para limpieza y remover pegamento para EPDM.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Corte y retiro de perfil Jeene. Se cortará transversalmente en ambos extremos previo al inicio de la falla. Se sugiere efectuar una perforación de travieso completo desde la superficie y dentro del lado del tramo que se retirará, esto permitirá entrar a efectuar el corte transversal mediante sierra caladora (considerar hoja de sierra extralarga para PVC). Se recomienda formar una L entre dos listones, de manera que se posicione transversal al perfil sobre la línea de corte, sirviendo de guía y tope para el desplazamiento de la caladora al generar el corte. Considerar efectuar un corte recto y con la menor irregularidad posible. Ver figura 5.17.

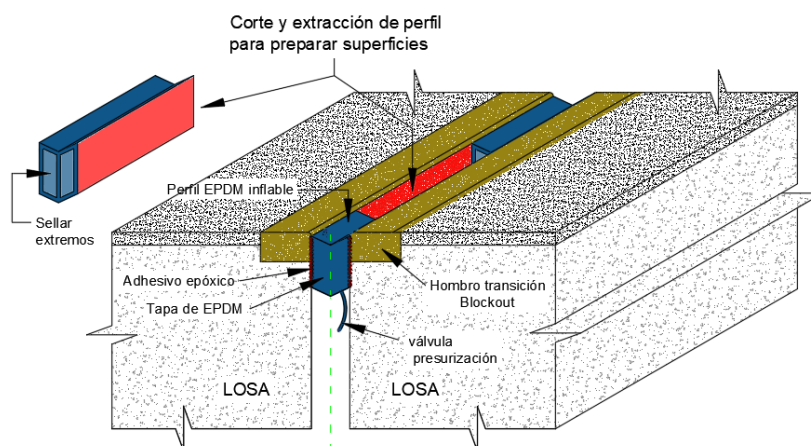


Figura 5.17: Isométrico, corte y extracción de perfil Jeene.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.2.- Retiro de adhesivo en paredes. Deberá ser removido todos los restos de adhesivo adherido a las paredes de ambos tableros, siendo realizado mediante desbaste con esmerilado. Para mejorar el alcance del esmerilado se recomienda esmeril angular de 9". Finalmente se removerá el material residual fino generado en las superficies mediante barrido de aire comprimido y posterior limpieza manual aplicando Xileno en las superficies.

3.3.- Acondicionamiento de perfil de reposición. De acuerdo a las siguientes actividades:

- Dimensionar el perfil Jeene acorde al tramo a reponer. Se recomienda efectuar el corte mediante Serrucho de costilla 18" (sin dientes, con borde afilado) guiado sobre caja ingletadora.
- Perforación mediante broca 1/8" para instalación de válvula de EPDM.
- **Instalación de válvula:** Lijado, limpieza, aplicación de pegamento EPDM e instalación de válvula de presurización, asegurando que cruce por completo el espesor del perfil.
- **Instalación de tapas:** Corte de tapas EPDM, lijado de extremos y de tapas en áreas a unir. Aplicación de pegamento para pegado de tapas en extremos del perfil. Mantener presionado por el tiempo que indique el fabricante (generalmente 60 segundos) y la unión ya estará consolidada. Asimismo, se eliminarán las irregularidades en ambos cortes realizados al perfil en sitio, y se sellarán de la misma manera.
- **Prueba de presurización:** Presurizar el perfil entre 15 a 20 psi y aplicar solución jabonosa alrededor de todas las zonas de unión que se realizaron, verificando que el perfil no tenga fugas; de haber fugas, se observará formación de burbujas en el punto que esté fugando.
- **Acondicionamiento de acanaladuras:** Se deberán lijar formando una superficie áspera y se aplicará acondicionador de superficie en ambos lados y área total que se unirá mediante adhesivo a las paredes de los tableros. Una vez seco al tacto, ya se podrá aplicar la pasta epóxica para montaje e inserción dentro de la cavidad entre tableros.

3.4.- Instalación del perfil. Al no haber evidencia de fugas en la prueba de presurización, se liberará la presión hasta que disminuya su ancho casi igualando, pero siendo ligeramente superior al de separación entre tableros.

- Aplicar pasta de adhesivo epóxico en ambas caras de los tableros, considerando una separación de 6mm bajo la rasante de calzada, según largo y ancho de las acanaladuras del perfil a reponer. Espesor de capa de adhesivo debe ser entre 1 mm a 3 mm máximo.
- Aplicar pasta de adhesivo epóxico penetrando las acanaladuras de ambos costados del perfil.
- Aplicar pegamento para EPDM en las caras de encuentro entre perfiles e instalar inmediatamente el tramo a reponer. Presentar el perfil generando una concavidad o U inversa, de tal manera que primero se puedan encontrar los bordes superiores de los extremos y luego juntar el resto de la sección a medida que se va presionando la bajada del perfil dentro de la cavidad entre tableros.
- Finalmente, una vez inserto y nivelado el perfil, se presurizará hasta alcanzar una presión de 15 a 20 psi. Deberá permanecer presurizado por al menos 24 horas hasta lograr el endurecimiento del adhesivo de montaje (especificado por el fabricante en relación a temperatura ambiente y humedad relativa).

G) Estandarización proceso constructivo CE7.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte daños por deformación, fisuras y desprendimiento de material en parte de uno de los hombros elastoméricos o *blockout* (ver figura 5.18). Esta condición afecta directamente a la adhesión del perfil Jeene en el lado del hombro afectado. En tal caso, se propone cortar, demoler y extraer el material del tramo dañado; cortar y extraer el perfil Jeene correspondiente al tramo en reparación, efectuar la reposición de mortero elastomérico y finalmente, restituir el perfil Jeene realizando el proceso de instalación establecido en la estandarización CE6.

Nota: Para este caso hipotético, se considera que el hormigón en los bordes de los tableros se encuentra sanos, sin fisuras ni deformaciones.

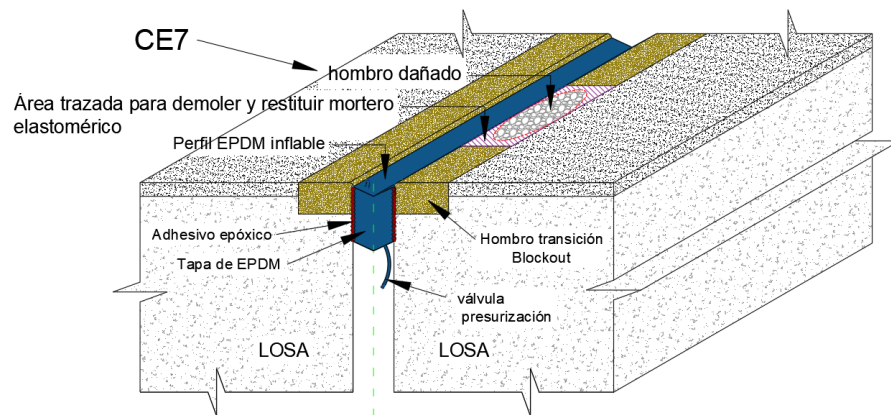


Figura 5.18: Esquema general de falla en caso CE7. Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Mortero elastomérico. Mortero a base de resinas epóxicas, formado por tres componentes A+B+C que constituyan a un mortero 100% sólido, impermeable, resistente y capaz de absorber las cargas de impacto del tráfico sobre los bordes del tablero y dispersar uniformemente en la cubierta. Se deberá verificar cumplimiento de las pruebas físicas que establece la ASTM conforme a la tabla 5.3:

Tabla 5.3: Propiedades físicas para mortero elastomérico de transición.

Propiedades físicas	Método ASTM	Requerimientos
Aglutinante y agregado		
Fuerza de compresión	D 695 (modificado)	2.200 psi mín.
Resiliencia (a 5% deflexión)	D 695	90% mín.
Estrés (a 5% deflexión)	D 695	800 psi mín.
Resistencia al impacto		
a -29°C	D 695	Sin grietas 7 ft-lb, mín.
a 0°C	D 695	Sin grietas 7 ft-lb, mín.
a 70°C	D 695	Sin grietas 7 ft-lb, mín.
Adhesión al concreto		
En estado seco	D 695	400 psi mín.
En estado húmedo	D 695	250 psi mín.

Fuente: Watson Bowman Acme, 2023.

Puente adherente. Se utilizará un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, el cual, deberá ser estrechamente compatible con el mortero elastomérico de reparación a utilizar.

Perfil EPDM Jeene. Se deberá considerar conservar igual serie y dimensiones del perfil puesto en sitio de falla.

Adhesivo epóxico. Considerar kit propuesto por fabricante del sistema de junta, verificando cumplimiento de pruebas físicas para sello de neopreno inflable conforme a los siguientes métodos de la tabla 5.4:

Tabla 5.4: Propiedades físicas para adhesivo epóxico de montaje.

Propiedades físicas	Método ASTM	Requerimientos
Resistencia a la tracción	D638	3.500 a 4.000 psi mín.
Compresión axial	D 695	8.000 psi mín.
Vida en pote	D 2471	40 minutos mín. a 25°C.
Punto de inflamabilidad	D 56	> 65.5°C
Resistencia a la tracción (24hrs)	D 638	3.000 psi mín.
Compresión axial (24hrs)	D 695	6.500 psi mín.

Fuente: Watson Bowman Acme, 2023.

Accesorios de sello y presurización perfil Jeene. Kit de válvula EPDM de presurización, tapas de EPDM, pegamento para EPDM.

Productos de limpieza. Emplear xileno solvente industrial para limpieza y remoción de pasta de adhesivo epóxico que se emplea para adherir el perfil Jeene a las caras del tablero y, metil etil cetona para limpiar y remover pegamento para EPDM.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Corte y demolición de hombro dañado. Se delimitará el área afectada a remover realizando un corte perimetral mediante esmeril angular, luego, se procederá a demoler y retirar todo el material dañado que indique la auscultación. Ver figura 5.19.

3.2.- Corte y extracción del perfil Jeene en tramo de falla. De acuerdo a lo establecido en la estandarización N°7, considerando método de retiro de perfil, desbaste y remoción de adhesivo adherido a las paredes, y limpieza de superficies. Ver figura 5.19.

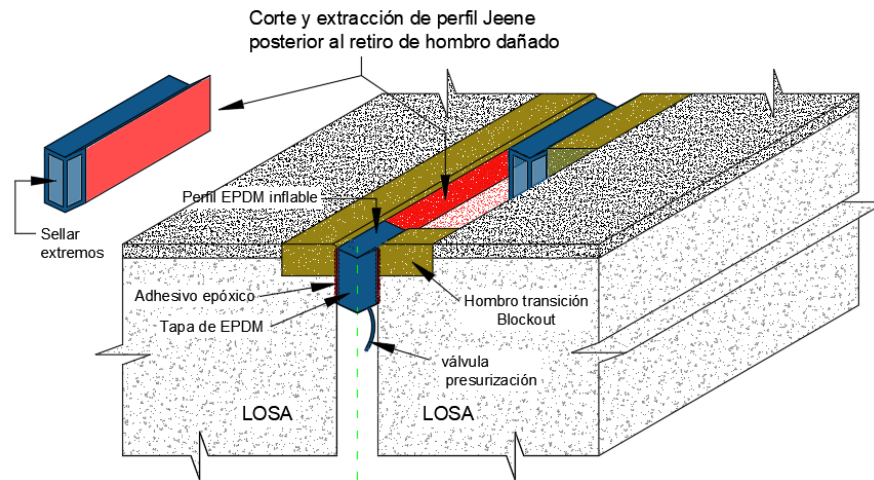


Figura 5.19: Isométrico, corte y extracción de perfil Jeene y hombro de transición.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.3.- Instalación de moldaje e imprimación. De acuerdo a las siguientes actividades:

- Se considera la instalación de moldaje dentro de la cavidad en la separación entre tableros, posicionando a presión, poliestireno expandido según largo y ancho de separación en tramo a efectuar la reposición de mortero. Ver figura 5.20.
- Se sugiere limpiar nuevamente el cajón mediante barrido de aire comprimido.
- Preparación de puente adherente, en estricto cumplimiento de la dosificación de las partes A+B, tiempo de mezclado y aplicación según lo especificado por el fabricante. En general, la preparación requiere un tiempo de mezclado entre 60 a 90 segundos, luego de ello, al obtener uniformidad en la mezcla, ya se puede aplicar inmediatamente mediante pulverizado o idealmente para superficies irregulares mediante brocha.

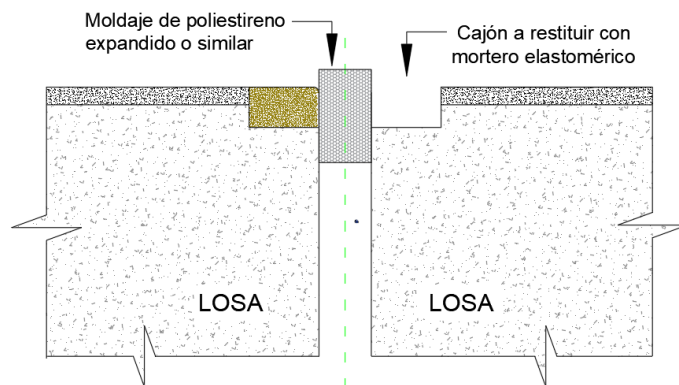


Figura 5.20: Corte transversal, instalación de moldaje.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.- Reposición de mortero elastomérico. De acuerdo a las siguientes actividades:

- Preparación del mortero elastomérico, en estricto cumplimiento de la dosificación de las partes A+B+C, tiempo de mezclado y aplicación según lo especificado por el fabricante.
- Al obtener una mezcla uniforme, verter inmediatamente el producto hasta completar el relleno del cajón alcanzando el nivel de rasante del pavimento. El producto tiene cualidad de autonivelante, pero se debe dar terminación con una llana metálica para dar continuidad en todo el perímetro de encuentro, conservando el mismo ángulo de bombeo que proyecta la calzada. Ver figura 5.21.

3.5.- Retiro de moldaje, biselado de borde y reposición de perfil Jeene. De acuerdo a las siguientes actividades:

- Una vez endurecido el mortero elastomérico, proceder con el retiro del moldaje instalado.
- Mediante esmerilado, retirar los restos de poliestireno que se puedan haber adherido a la resina del mortero y, biselar a 45° el borde del hombro reparado igualando las dimensiones del biselado aledaño. Ver figura 5.21.
- Remover restos de adhesivo de montaje aún adheridos a las paredes de los tableros mediante esmerilado, preparación y limpieza de superficies de acuerdo a lo indicado en estandarización CE6.
- Dimensionado, preparación e instalación del perfil a restituir según lo indicado en estandarización CE6.

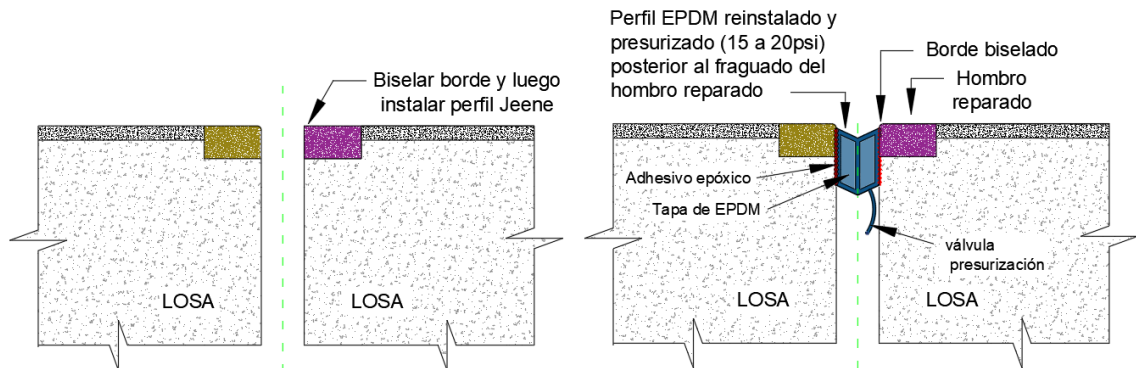


Figura 5.21: Corte transversal, termino de reparación CE7.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

5.2.2.2. Elastomérica reforzada.

De acuerdo a lo mencionado al inicio del capítulo, las estandarizaciones que se contemplan para cantoneras del tipo sello de EPDM inflable - Jeene, serán las siguientes ilustrándose en la figura 5.22:

CE8: Daños en labio de transición y en sellos sobre fijaciones, fijaciones sueltas.

CE9: Deterioro en hombro de apoyo.

Consideraciones generales.

- Es necesario considerar que las dimensiones en la sección transversal de los labios de transición varían de acuerdo a cada modelo de dispositivo que ofrecen los fabricantes, en directa relación a sus prestaciones y capacidad de soporte.
- Para efectos de cuantificar la preparación y aplicación del mortero elastomérico, es necesario de considerar que son de secado rápido, en promedio el tiempo de trabajabilidad para este tipo de mortero está entre los 5 a 15 minutos a 25°C de temperatura ambiente (ver en especificaciones de fabricante del producto).
- La temperatura ambiente mínima de trabajo debe ser de 5°C. La base de la losa debe estar completamente seca y no se debe hacer la instalación, durante o inmediatamente después de una precipitación.

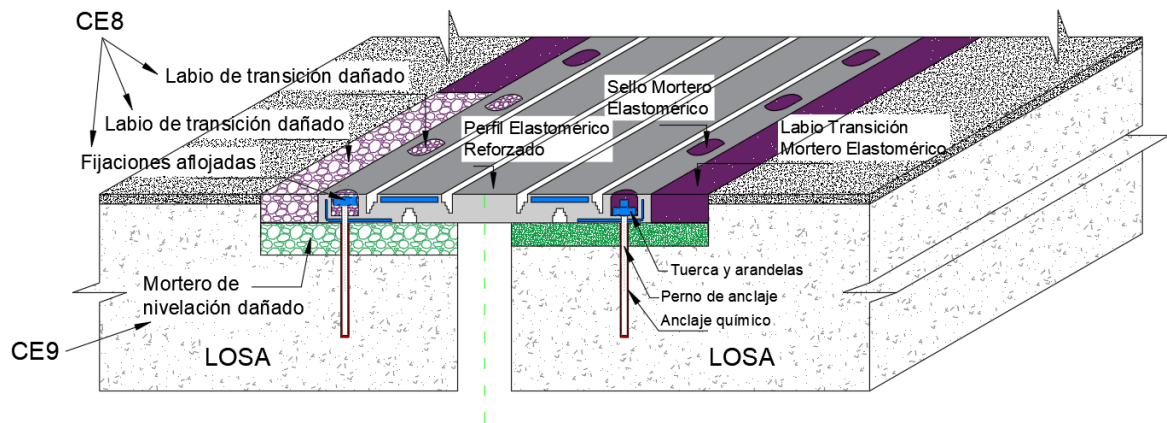


Figura 5.22: Esquema general de fallas para E4. Fuente: Elaboración propia, 2021.

H) Estandarización proceso constructivo CE8.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte daños en labios de transición y sellos, en presencia de fisuras y desprendimiento de material, y fijaciones sueltas. Ver figura 5.23.

En tales casos, se propone retirar el material dañado en labios de transición y sello de fijaciones. En caso de haber fijaciones sueltas, se propone aprovechar sustituir por nuevas unidades de tuercas y arandelas, aplicando el torque correspondiente a cada una de las unidades que comprende la reparación.

Finalmente, se dará terminación a los trabajos, restituyendo el labio de transición y sellos sobre fijaciones rellenando las áreas afectadas con mortero elastomérico.

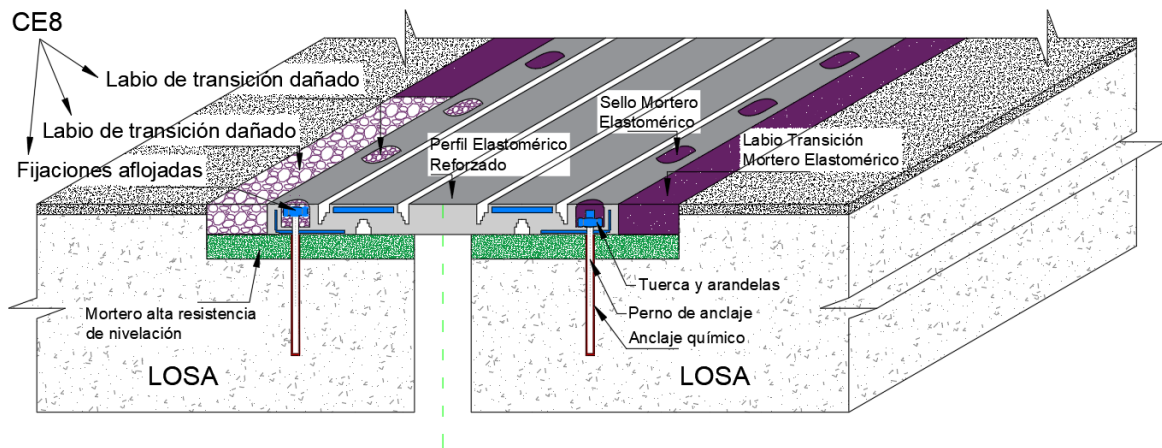


Figura 5.23: Esquema general de falla para caso CE8.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Mortero elastomérico. Mortero a base de resinas epóxicas, formado por tres componentes A+B+C que constituyan a un mortero 100% sólido, impermeable, resistente y capaz de absorber las cargas de impacto del tráfico sobre los bordes del tablero y dispersar uniformemente en la cubierta. Se deberá verificar cumplimiento de las pruebas físicas que establece la ASTM conforme a la tabla 5.5:

Tabla 5.5: Propiedades físicas para mortero elastomérico.

Propiedades físicas	Método ASTM	Requerimientos
Propiedades con agregado		
Fuerza de compresión	C 579	3000 psi mín.
Fragilidad	Caída de bola	7 ± 1 ft-lb mín.
Propiedades sin agregado		
Resistencia a la tracción	D 638	1650 ± 200 psi
Resistencia al desgarro	D 624	150 ± 25 psi
Dureza Shore D	D 2240	45 ± 5
Resistencia de unión concreto húmedo	Tex 618-J	450 psi

Fuente: RJ Watson, 2023.

Puente adherente. Se utilizará un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, el cual, deberá ser estrechamente compatible con el mortero elastomérico de reparación a utilizar.

Tuercas y arandelas. Tuercas autoblocantes y arandelas (plana y de presión) correspondientes al diámetro del perno de anclaje puesto en sitio, generalmente se emplean pernos M14 pero, puede variar según cálculos para casos de mayores solicitaciones. Ambas piezas deben ser en acero inoxidable.

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Corte y demolición de labio de transición dañado y, retiro de sellos sobre fijaciones.

- En el labio de transición dañado, se delimitará el área afectada a remover realizando un corte perimetral mediante esmeril angular. Luego, se procederá a demoler y retirar todo el material dañado mediante herramientas manuales y/o martillo demoledor.
- En los sellos que presenten fisuras y desprendimiento de material, se hará retiro del material dañado mediante uso de técnicas con herramientas manuales de baja energía de impacto. Ver figura 5.24.

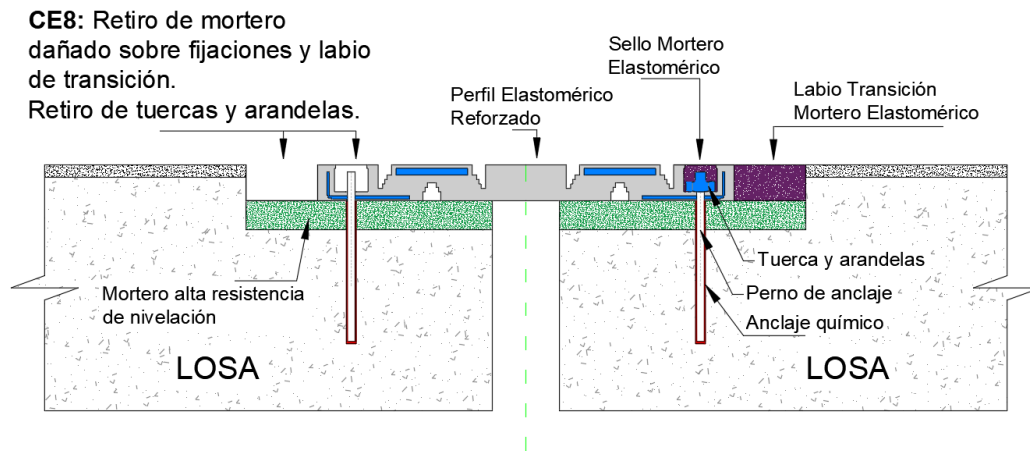


Figura 5.24: Corte transversal, retiro de mortero elastomérico dañado; CE8.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.2.- Reemplazo de tuercas y arandelas en fijaciones sueltas.

- En las unidades aflojadas, primero se aplicará lubricante de alta penetración tipo WD-40, lubricando todo el hilo del perno de anclaje en el tramo de salida e intentando que penetre dentro de la tuerca.
- Mediante uso de herramientas manuales se hará retiro de las tuercas y junto con ellas, sus respectivas arandelas.
- La reposición de las unidades se hará en el siguiente orden: arandela plana -arandela de presión - tuerca autoblocante.
- Torque a generar en caso de ser perno M14: 14 Nm (según catálogo de fabricante, Interbuna; y tablas de soluciones de anclajes Hilti).

3.3.- Limpieza e imprimación de superficies.

- Limpieza y remoción de material residual fino mediante barrido de aire comprimido aplicado sobre todas las superficies del cajón.
- Preparación de puente adherente, en estricto cumplimiento de la dosificación de las partes A+B, tiempo de mezclado y aplicación según lo especificado por el fabricante. En general, la preparación requiere un tiempo de mezclado es de 90 segundos, al obtener uniformidad en la mezcla, ya se puede aplicar inmediatamente mediante brocha (debido a la superficie irregular).
- Tiempo de gel (estado fresco) es de aproximadamente 15 a 20 minutos dependiendo de la temperatura ambiente, para verter la mezcla.

3.4.- Reposición de mortero elastomérico en labio de transición y fijaciones.

- Preparación del mortero elastomérico, en estricto cumplimiento de la dosificación de las partes A+B+C, tiempo de mezclado y aplicación según lo especificado por el fabricante.

- Su preparación: primero mezclar (según dosificación) las partes del contenido A y B a baja velocidad hasta lograr un color uniforme. Enseguida, y mientras se sigue mezclando, se debe agregar lentamente el contenido de arena de cuarzo y continuar mezclando a baja velocidad hasta que todas las partículas se vean envueltas en resina.
- Al obtener una mezcla uniforme, verter inmediatamente el producto hasta completar el relleno del cajón alcanzando el nivel de rasante del pavimento. Asimismo, rellenar sellando las fijaciones que están siendo reparadas, hasta alcanzar el nivel de rasante del perfil de neopreno.
- Dar terminación con una llana metálica para dar continuidad en todo el perímetro de encuentro, conservando el mismo ángulo de bombeo que proyecta la calzada. Ver figura 5.25.

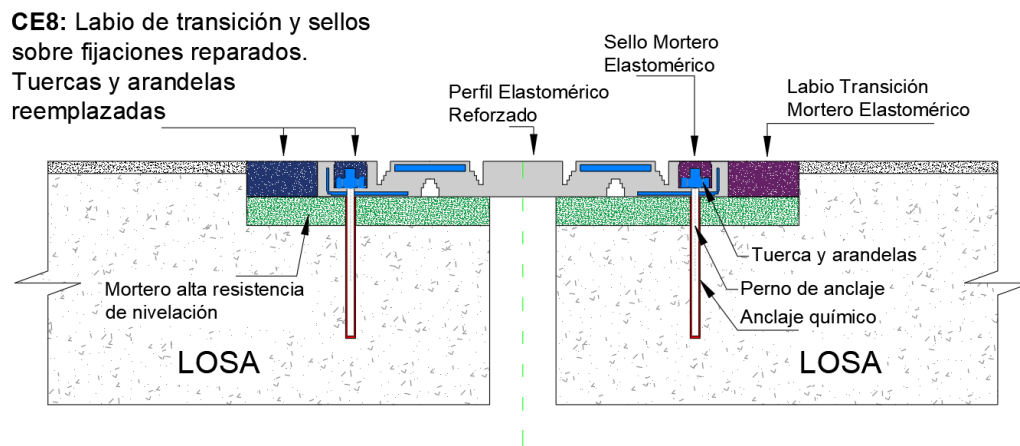


Figura 5.25: Corte transversal, reparación terminada para CE8.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

I) Estandarización proceso constructivo CE9.

1.- Descripción y alcances.

Esta operación se refiere a los trabajos necesarios a realizar en caso que se detecte daños en uno de los hombros de apoyo, abajo del perfil de neopreno (ver figura 5.26); se podría tratar de fisuras o desmoronamiento solo en la capa de mortero de nivelación o un daño más severo directamente en el hormigón del tablero.

En reparación de ello, se deberá retirar el mortero elastomérico del labio de transición en la extensión que comprende la falla. Retirar los sellos y fijaciones del perfil elastomérico que se encuentran dentro del tramo de falla. Realizar dos cortes transversales en extremos del tramo de falla (parcial, no total) hasta la ranura necesaria de dilatación del perfil que permita levantar

y curvar recogiendo el perfil y dejarlo sostenido hacia el lado del tablero sano. Así, se podrá acceder a demoler y retirar todo el material que se encuentre dañado en el hombro de apoyo, junto con ello, extraer los anclajes que se hallen aflojados para ser sustituidos por nuevas unidades de anclaje luego de haber reparado el hombro de apoyo. Se efectuará la reparación correspondiente del hombro, reposición de los anclajes que sean necesarios. Se retornará a su posición el perfil que fue cortado y levantado de lugar, sellando los cortes realizados por medio de vulcanizado en frío. Finalmente, se instalarán las fijaciones y se restituirá el mortero elastomérico sobre el labio de transición y unidades de fijaciones a ser selladas.

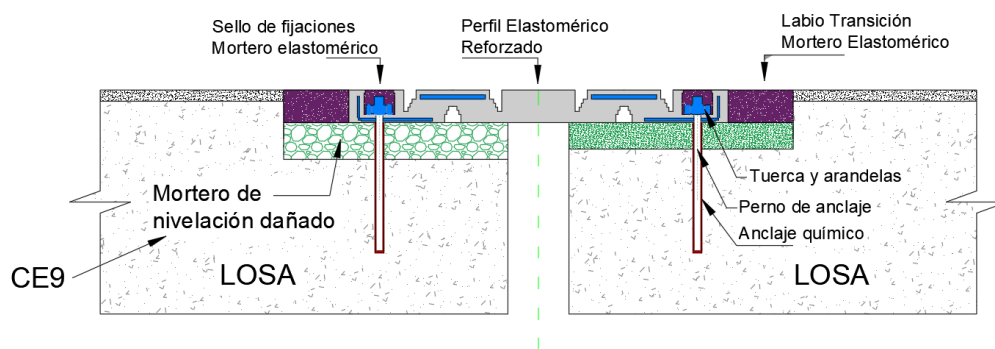


Figura 5.26: Corte transversal, material dañado en hombro de apoyo; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.- Materiales.

Mortero elastomérico. Mortero a base de resinas epóxicas, formado por tres componentes A+B+C que constituyan a un mortero 100% sólido, impermeable, resistente y capaz de absorber las cargas de impacto del tráfico sobre los bordes del tablero y dispersar uniformemente en la cubierta. Se deberá verificar cumplimiento de las pruebas físicas que establece la ASTM conforme a la tabla 5.5.

Puente adherente (mortero elastomérico). Se utilizará un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, el cual, deberá ser estrechamente compatible con el mortero elastomérico a utilizar.

Mortero de reparación alta resistencia. Se requerirá un mortero polimérico que alcance en obra una resistencia a la compresión de 40MPa y de 12MPa a la flexotracción, ambas medidas a los 28 días (Manual de Carreteras, Volumen N°7, sección 7.307.0302).

Puente adherente (Mortero de reparación). Se utilizará un puente de adherencia a base de resinas epóxicas, el cual, deberá ser estrechamente compatible con el mortero polimérico de reparación a utilizar.

Tuercas y arandelas. Tuercas autoblocantes y arandelas (plana y de presión) correspondientes al diámetro del perno de anclaje puesto en sitio, generalmente se emplean pernos M14 pero, puede variar según cálculos para casos de mayores solicitaciones. Ambas piezas deben ser en acero inoxidable calidad A316.

Anclajes. En caso de extraer varillas de anclajes, debido a la perforación a realizar para su extracción, se deberá incrementar el diámetro de las varillas a reponer avanzando a la medida siguiente y en acero inoxidable calidad A316. Ejemplo: varilla original M14, se instalará varilla M16.

Adhesivo epóxico de anclaje. Compatible para anclaje de varillas de acero inoxidable en losa de hormigón. Verificar cumplimiento de las pruebas físicas que establece la ASTM conforme a la tabla 5.6:

Tabla 5.6: Propiedades físicas para anclaje químico.

Propiedades físicas	Método ASTM	Requerimientos
Resistencia a la compresión	D 695	60 N/mm ² (7 días, +20°C)
Módulo E. a la compresión	D 695	3,500 N/mm ² (7 días, +20°C)
Resistencia a flexión	D 790	28 N/mm ² (7 días, +20°C)
Resistencia a la tracción	D 638	12 N/mm ² (7 días, +20°C)
Módulo E. a la tracción	D 638	4.500 N/mm ² (7 días, +20°C)

Fuente: Ferrocaucho, 2023.

Vulcanizado en frío. Conjunto que compuesto por un acondicionador de superficie + elastómero de vulcanizado (base + solidificador), logren cumplir los requisitos técnicos del perfil de EPDM según los siguientes:

- Dureza shore A: 60 a 70. (ASTM D 2240).
- Elongación hasta ruptura (%): 450 mínimo (ASTM D 412).

3.- Procedimientos de trabajo.

3.1.- Corte y demolición de labio de transición sobre hombro dañado y, retiro de sellos sobre fijaciones. De acuerdo a lo indicado en estandarización CE8 y, añadiendo que, para este caso se considera el retiro de todos los sellos sobre fijaciones que se encuentran hacia el lado del tramo afectado, en la totalidad de su extensión. Ver figura 5.27.

3.2.- Retiro de tuercas y arandelas de anclajes. Primero, se aplicará lubricante de alta penetración tipo WD-40, lubricando todo el hilo del perno de anclaje en el tramo de salida e intentando que penetre dentro de la tuerca. Mediante uso de herramientas manuales se hará retiro de las tuercas y junto con ellas, sus respectivas arandelas. Ver figura 5.27.

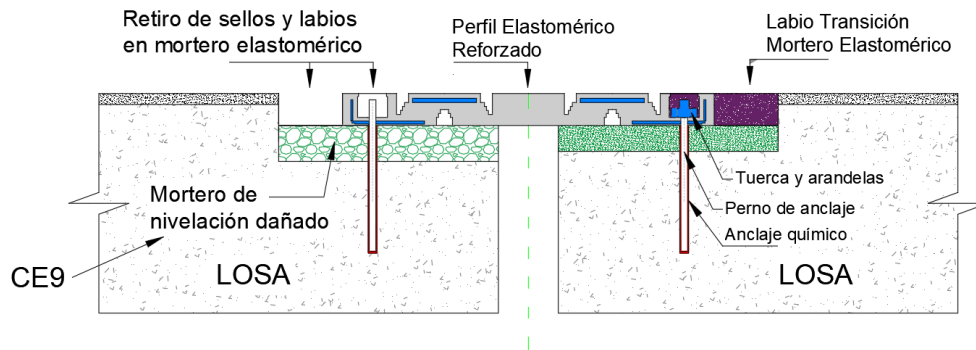


Figura 5.27: Corte transversal, remoción de labio de transición y sellos dañados; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.3.- Corte transversal y levante de perfil. Mediante herramienta eléctrica de corte, se cortará transversalmente y de manera parcial (en extremos del tramo de falla) hasta la ranura de dilatación del perfil que permita levantar y curvar recogiendo el perfil y dejarlo sostenido hacia el lado del tablero sano. Ver figura 5.28.

3.4.- Retiro de material dañado. Se realizará un corte perimetral delimitando el área de falla y se procederá a remover el material dañado (hasta donde determine la auscultación) mediante herramientas manuales y/o de ser necesario uso de martillo demoledor. Ver figuras 5.28 y 5.29.

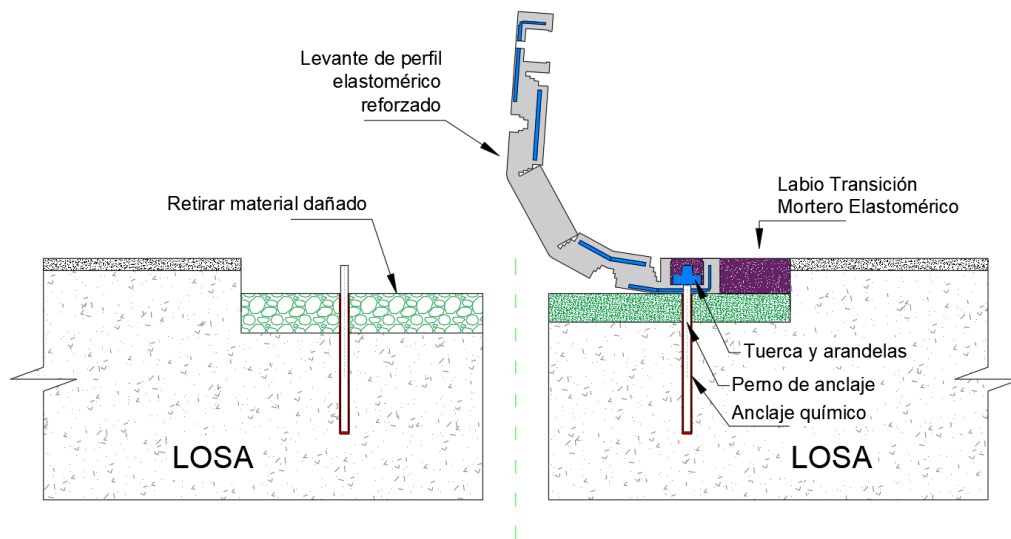


Figura 5.28: Corte transversal, corte transversal y levante de perfil; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.- Extracción de anclajes afectados. Mediante perforación con testiguera, se ajustará el diámetro de la copa diamantada de tal manera que permita realizar una perforación lo más cercana posible al perímetro del anclaje instalado y de la misma manera, el anclaje pueda ser acogido al interior de la broca a medida que avanza en profundidad la perforación.

Alcanzada la profundidad teórica del anclaje, se aplicará esfuerzo de torque para que el tramo de concreto que permanece adherido a la punta del anclaje, se fracture. Ver figura 5.29.

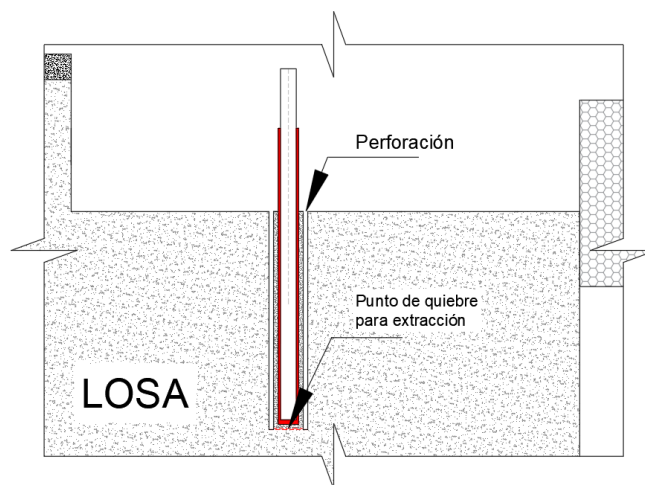


Figura 5.29: Corte transversal, perforación para extraer perno de anclaje; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.6.- Limpieza de superficie. Habiendo retirado los escombros generados producto de la demolición, se limpiará todas las superficies del cajón removiendo el material residual fino mediante barrido de aire a presión.

3.7.- Acondicionamiento para reposición de hombro de apoyo. Instalar moldaje de poliestireno expandido, atrapado en la cavidad entre tableros. También considerar tubos o barras de diámetro de las perforaciones generadas en la extracción de los anclajes, fijándolas como moldajes, así, dejar definidos los puntos de anclaje sin necesidad de repetir las perforaciones.

Trazar nivel de término de concreto en todas las paredes del cajón (considerando la del moldaje) asegurando lograr la correcta nivelación del perfil elastomérico cuando se apoye sobre el hombro reparado. Ver figura 5.30.

Luego, preparar mezcla de imprimante epóxico compatible con el mortero polimérico de reparación, en cumplimiento de la dosificación y especificaciones de aplicaciones establecidas por el fabricante del producto.

Aplicar imprimante mediante brocha, en todas las superficies del cajón.

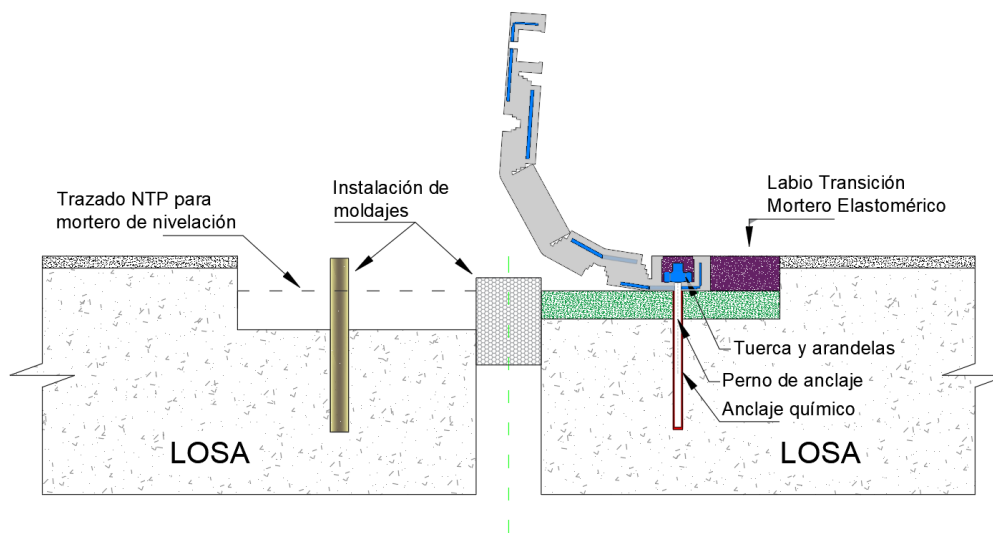


Figura 5.30: Corte transversal, instalación de moldajes; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.8.- Reposición y nivelación de hombro de apoyo. Preparar mezcla de mortero cumpliendo rigurosamente la dosificación, preparación y aplicación establecida por el fabricante del producto.

Aplicar mezcla de concreto polimérico hasta alcanzar el nivel de término de concreto trazado, aplicando y compactando mediante espátula y llana metálica.

Este mortero a base de resinas epóxicas no es cementicio, por lo cual, no requiere tratamiento de curado.

3.9.- Instalación de nuevos anclajes. Transcurrido el tiempo mínimo para efectuar el descimbre, hacer retiro de los moldajes.

Aplicar adhesivo epóxico de anclaje en cumplimiento a las indicaciones de aplicación establecidas por el fabricante del producto.

Introducción de varillas de anclaje, enroscando a medida que se va introduciendo hacia el fondo de la perforación hasta alcanzarlo. Asegurar verticalidad del anclaje, considerar los tiempos de endurecimiento para efectuar ajustes, los que en general, promedian los 30 minutos a temperatura ambiente de 20°C.

3.10.- Retornar perfil elastomérico a su posición, sellado de cortes, instalación de fijaciones y aplicación de torque. Para sellar los cortes transversales realizados al módulo elastomérico, se aplicará vulcanizado en frío conforme a los pasos a seguir para preparación de superficies y aplicación indicado en la estandarización CE5.

Enseguida luego de retornar el módulo elastomérico a su posición efectuando el sello de los cortes, de manera inmediata, se procederá a instalar las unidades de fijación aplicando el torque correspondiente (establecido de acuerdo al diámetro y profundidad de varilla instalada).

3.11.- Reposición de labio elastomérico y sello sobre fijaciones. La imprimación final de las superficies correspondientes al labio de transición y, posterior reposición de labio de transición y sello de fijaciones mediante vertido de mortero elastomérico, se procederá conforme a lo señalado en estandarización CE8. Ver figura 5.31.

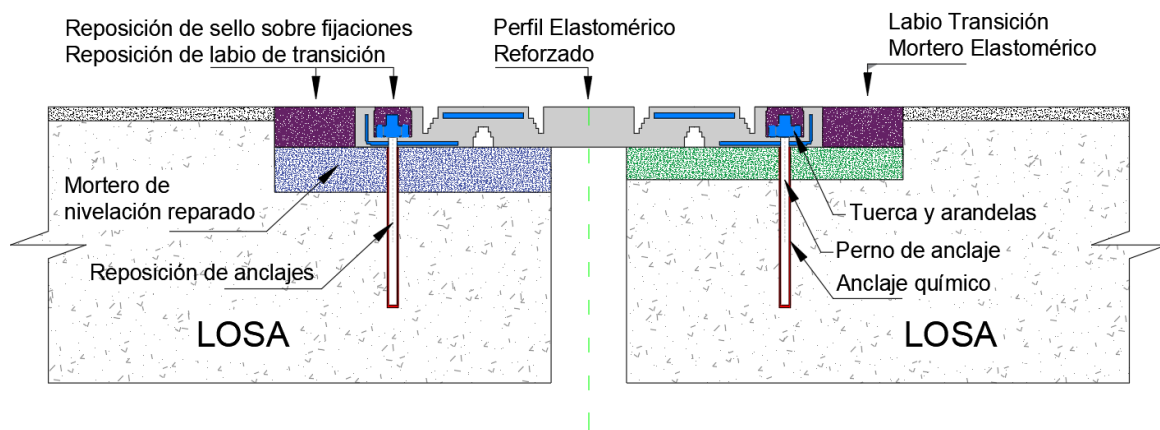


Figura 5.31: Corte transversal, reparación finalizada; CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Capítulo 6: ANÁLISIS DE COSTOS A LA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE CANTONERAS.

Para el presente análisis de los costos que implica cada propuesta de estandarización generada, las variables a considerar dentro de cada partida, son las que se encuentran directamente ligadas al proceso constructivo, identificando a estas, como las mínimas y necesarias para el desarrollo de la actividad.

Se plantea el análisis de precios unitarios considerando los recursos mínimos a requerir en concepto de: mano de obra, materiales, herramientas, equipos y maquinarias; para lograr ejecutar 1 metro lineal de avance en cada uno de los procesos constructivos estandarizados y mencionados anteriormente en el capítulo N°5.

Complementando lo anterior, también cabe señalar que no se consideró dentro de los costos estudiados, variables que su requerimiento no varía en directa relación a un metro lineal de reparación, tales como:

- Costos de arriendo por material de segregación de área y control de tránsito: pueden ser cuantificados en relación al tiempo, pero, la cantidad de material no varía su requerimiento en directa relación con un metro lineal reparado.
- Arriendo de casetas de vigilancia.
- Fraguado: las horas de fraguado de morteros y sellos no varían en directa relación al metro lineal de avance.

Considera solo costos directos de la actividad, omitiendo de ser considerados costos que, pese de ser requeridos y necesarios para la actividad, pueden ser considerados dentro de los gastos generales de cada empresa.

No se consideran costos por concepto de traslado de materiales, traslado de herramientas y maquinarias, traslado y botadero de escombros, entre otros, ya que son variables a la magnitud de cada proyecto en cuanto a: duración de la obra, ubicación, recursos de cada empresa, entre otros; y no en directa relación a la ejecución de un metro lineal en cualquiera de los casos en estudio.

En cuanto a los precios de materiales y productos que conforman a cada sistema de junta, se han obtenido a través de sus respectivos representantes en Chile y/o en el extranjero (para el caso de la junta de EPDM inflable Jeene).

Respecto de los costos en recursos de mano de obra, fueron considerados de la siguiente manera:

- Maestro soldador, sueldo base de \$950.000.-
- Maestro primera, sueldo base de \$740.000.-
- Ayudantes, sueldo base de \$550.000.-
- Bandereros, sueldo base de \$500.000.-

Para llegar al costo empresa que ellos implican (teórico), sobre cada sueldo base se consideró agregar un 25% de gratificaciones y, sobre ello, lo correspondiente a los siguientes seguros:

- Seguro de cesantía (AFC): 3%
- Mutua: 3.48%
- Seguro de invalidez y sobrevivencia (SIS): 1.85%

De acuerdo a lo anterior, el costo empresa por concepto de sueldo para cada trabajador a considerar en los siguientes análisis de precios unitarios, resultan ser los siguientes:

- Maestro soldador: \$1.286.419.-
- Maestro primera: \$1.002.053.-
- Ayudantes: \$744.769.-
- Bandereros: \$677.063.-

Por lo tanto, las horas hombre a considerar para este estudio de costos resultó en el siguiente:

- Maestro soldador: \$7.147.-
- Maestro primera: \$5.567.-
- Ayudantes: \$4.138.-
- Bandereros: \$3.761.-

A continuación, se presentarán los costos que significaron las propuestas de estandarización. Para una lectura más rápida del presente capítulo, se mostrarán los presupuestos con los valores finales de cada partida, adjuntándose en los anexos del presente informe, un análisis de precios unitarios completo a modo de ejemplo.

6.1. Costos de estandarización proceso constructivo CE1.

Para el caso de haber daños en el pavimento aledaño a la cantonera se ha propuesto reparar generando un labio de transición que fortifique e impermeabilice una extensión de a lo menos 0.25 m desde el borde de encuentro con la cantonera. Lo anterior, sustentado principalmente en proteger la estabilidad del área en la que se extienden los anclajes de las cantoneras metálicas. De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.1.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE1					
Descripción: Daño en pavimento aledaño a la cantonera. Considera: Remoción de todo el material dañado aledaño a la cantonera y fortificar creando un labio de transición de 1m x 0,25m x 0,04m en mortero epóxico.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Replanteo y trazado; corte, demolición y remoción de material dañado; auscultación y limpieza.	ml	1	\$ 26.012	UF 0,73
2	Reposición Labio de transición en mortero epóxico.	ml	1	\$ 140.045	UF 3,91
3	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 20.996	UF 0,59
4	Limpieza y normalización del área	ml	1	\$ 10.026	UF 0,28
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	197.080
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	5,51

Figura 6.1: Costos de estandarización proceso constructivo CE1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cumpliendo con las condiciones requeridas por el manual de carreteras para reparaciones superficiales de pavimentos en puentes pero, además, considerando mejorar la zona de transición a la cantonera como se propone en la literatura, mediante un blackout a base de mortero epóxico que otorgue resistencia al impacto y desgaste en condiciones de tráfico vehicular, impermeabilidad al agua e insensible al derrame de químicos; se propuso la reparación mediante mortero epóxico SIKADUR PAV, el cual, cumple satisfactoriamente con las recomendaciones de mejora y supera ampliamente la mínima resistencia a la compresión requerida. El costo de este material es el más incidente dentro del costo total, representando un

61.28% del costo total de reparación para 1 metro lineal de labio de transición en una sección de 0.25m x 1.00m y 4cm de profundidad. Pero, además de mejorar las propiedades físicas del concreto aldaño a la cantonera, su rápida velocidad de fraguado sin retracción permite en un corto tiempo de espera (en sólo horas), realizar la puesta en marcha en la habilitación de las vías al tráfico habitual. El Manual de Carreteras establece una resistencia mínima a la compresión de 35 MPa a los 28 días con un tiempo de curado de al menos 7 días (en aplicación de hormigones cementicios), sin embargo, por ficha técnica el mortero epóxico propuesto alcanza 58 MPa en 24 horas, lo que no es un factor menor a considerar tanto por la demanda en el uso de la vía como por el costo de los recursos necesarios por mantener el control del tránsito mientras la vía reparada se encuentre fuera de uso.

Los costos de demolición en general, considerando también, el retiro de material y limpieza de superficies, representan tan sólo un 13.19% del costo total, pese a haber considerado una herramienta de demolición liviana, de baja fuerza de impacto y rendimiento de apenas 1.28 lt/min. El costo en mano de obra para dicha actividad representa un 6.55% del costo total.

Respecto de los costos en reposición de sello bituminoso, lo más significativo es el costo de la caldera de doble cámara, necesaria para la preparación del mastic asfáltico. Su valor mínimo por día representaría un 33.99% del costo total de la reparación haciendo la relación a 1 metro lineal de reparación. En el presupuesto fue considerado solo la proporción en tiempo de uso respecto del valor de arriendo diario mínimo encontrado, sin embargo, es una proporción que variará significativamente al considerar ejecutar una cantidad mayor en metros lineales de sello, ya que su precio depende estrechamente del rendimiento diario y no del metro lineal realizado. Por otro lado, el producto sólido de mezcla asfáltica con polímeros es de venta minoritaria, y para este caso, significaría sólo un 2.21% del costo total, sin generar pérdidas y variando en directa relación a 1 metro lineal.

6.2. Costos de estandarización proceso constructivo CE2.

En esta intervención se consideró reparar en un metro lineal de placa deslizante, un cordón continuo de soldadura tipo filete de un metro lineal de extensión con tamaño de soldadura S de 10 mm en ambos lados iguales. Además, la reparación de 3 unidades de soldadura de tapón de dimensiones 20x50 mm en espesor 10 mm. De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.2.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE2

Descripción: Placa deslizante suelta.

Considera: Retiro de cordón de soldadura de filete posterior y perfilado en "V" en líneas de rotura en soldaduras de tapón, reposición de soldaduras y sello bituminoso.

Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; remoción de sello bituminoso y retiro de cordón de soldadura; perfilado en "V" de soldaduras tapón.	ml	1	\$ 49.238	UF 1,38
2	Reposición de soldaduras (cordon posterior y de tapón).	ml	1	\$ 47.259	UF 1,32
3	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 25.528	UF 0,71
4	Limpieza y normalización del área.	ml	1	\$ 12.987	UF 0,36

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)	\$ 135.013
---	-------------------

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)	UF 3,41
--	----------------

Figura 6.2: Costos de estandarización proceso constructivo CE2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Los costos totales por partida de remoción y perfilado de soldaduras dañadas a comparación de los costos por reposición se observan similares entre sí. Los costos en mano de obra y, máquinas y herramientas en el ítem 1 de remoción resultaron ser más costosos que los resultantes en reposición de soldaduras (ítem 2) considerando que el primero, para este caso requirió un tiempo mayor de ejecución (un 12.73% más que el requerido en el ítem 2).

Al revés, en el caso de los costos de materiales, resultan ser más costosos en el ítem de reposición (ítem 2) a comparación del ítem de remoción (ítem 1), correspondiendo el mayor de los costos a la cantidad de soldadura requerida. En ellas, el tipo de soldadura que requirió de mayor cantidad de material de aporte fue el cordón de soldadura de filete (61.42% del total), pero, el relleno del perfilado en V para soldaduras de tapón obtuvo el menor rendimiento (0.9 kg/m) siendo un 50% mayor el consumo de material de aporte por cada metro lineal, comparándose ambos tipos de soldaduras, en un mismo espesor de relleno (10 mm).

Pero, volviendo a la comparativa en las diferencias en requerimientos de: materiales, mano obra, máquinas y herramientas; en el ítem 1 versus lo requerido en el ítem 2, en ambos casos las diferencias son bajas. En el primer caso, el ítem 1 representa un 25.31% del costo total versus un 21.89%; diferencia de un 3.42%. En el segundo caso, el ítem 2 representa un 13.10% del costo total versus un 11.16%; diferencia de un 1.94%.

En tiempo de ejecución, los rendimientos de remoción y perfilado de soldaduras dañadas versus los tiempos de reposición resultan tener una diferencia entre sí de un 4.43% en 1 metro lineal de reparación. El ítem 1 representa un 34.81% del tiempo total de la reparación, versus un 30.38% que implica el ítem 2.

Respecto del tiempo requerido para desarrollo de las partidas, en el ítem 1 el mayor requerimiento de tiempo lo demandó ejecutar el retiro de sello bituminoso y retiro del cordón completo de soldadura de filete, pero, el rendimiento más bajo observado es el de perfilar en V las fisuras generadas en las uniones en soldaduras de tapón, estas últimas tienen un rendimiento de un 43.75% más bajo que el de remover el cordón de soldadura de filete. En el ítem 2, el mayor tiempo demandado fue en aplicación de soldadura de filete con un representando un 41.67% de la actividad, y muy de cerca la aplicación de soldadura sobre perfilado en V de soldaduras de tapón representando un 35.42% de la actividad. Pero cabe destacar que el rendimiento en aplicación de soldadura en V resultó un 50% menor que el de aplicar soldadura de filete.

6.3. Costos de estandarización proceso constructivo CE3.

De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.3.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE3

Descripción: Fractura de placa deslizante (con pérdida parcial).

Considera: Corregir cortes irregulares realizando corte transversal y perfilado a 60° en ambos extremos de unión, remoción de cordón de restos de soldadura posterior y soldaduras de tapón; Restituir placa deslizante 135x10x1000mm; soldadura de filete posterior L=1,0m y 3 puntos de soldadura de tapón 20x50mm a 40cm entre sí.

Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Cortes transversales sobre pletina existente; remoción de sello bituminoso, restos de soldaduras filete y de tapón.	ml	1	\$ 53.301	UF 1,49
2	Reposición de placa 135x10x1000mm; soldaduras: filete, a tope en "V" y de tapón.	ml	1	\$ 103.347	UF 2,89
3	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 25.528	UF 0,71
4	Limpieza y normalización del área.	ml	1	\$ 15.146	UF 0,42

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)	\$ 197.322
---	-------------------

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)	UF 5,09
--	----------------

Figura 6.3: Costos de estandarización proceso constructivo CE3.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La relación de costos entre lo que implican los corte y remoción versus la reposición de soldaduras, se mantienen como en el caso anterior dado a que sus rendimientos en sí mismos no varían, sí varía la cantidad. En este caso, se agrega a los costos de reposición de soldaduras, el costo por suministro y fabricación de la placa deslizante, los que inciden en un aumentando los costos del ítem 2, incluyendo en ellos, los cortes transversales y perfilado en V y, perforaciones y cortes para generación de soldaduras de tapón. Asimismo, también aumento los costos en el ítem 1 producto del trabajo adicional y uso de recursos para los trabajos de corte y retiro de la placa deslizante.

Las dimensiones de la placa deslizante a reponer se consideraron de acuerdo a la solución tipo establecida en la lámina 7.307.3a del Manual de Carreteras.

En este caso, al igual que sucede en la propuesta número 2, a diferencia de la propuesta número 1 el costo por metro lineal de sello bituminoso se ve incrementado en un 21.58% correspondiendo este incremento nada más que, a la condición de incluir dentro de la cuadrilla de trabajo a un maestro soldador dentro del tiempo que requiere la actividad.

6.4. Costos de estandarización proceso constructivo CE4.

De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.4.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE4					
Descripción: Pletina de tope dañada. Considera: Retiro de tramo dañado realizando cortes en "V" en puntos a unir con pletina de reposición, para este caso, se considera 1 metro lineal en pletina 12x10mm. Aplica soldadura de filete en ambos lados de la pletina y sello bituminoso en lado de empalme al pavimento.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Remoción de sello bituminoso, retiro de tramo dañado mediante cortes transversales en "V" sobre pletina existente y remoción de cordones de soldadura.	ml	1	\$ 55.559	UF 1,55
2	Reposición de pletina 12x10x1000mm; soldaduras: filete en ambos lados y a tope en "V".	ml	1	\$ 57.258	UF 1,60
3	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 25.528	UF 0,71
4	Limpieza y normalización del área.	ml	1	\$ 13.014	UF 0,36
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	151.358
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	3,87

Figura 6.4: Costos de estandarización proceso constructivo CE4.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Considerando que se ha mantenido la misma relación respecto de los rendimientos de materiales y mano de obra para la ejecución de estas actividades de remoción y reposición de soldaduras, en este caso, toma un costo mayor el ítem de reposición a causa del mayor requerimiento de material de soldadura a reponer, el cual, en el caso del cordón de soldadura de filete, duplicó el largo a trabajar al llevar este medio de unión por ambos lados de la pletina de tope (a diferencia de como sucede en CE2 y CE3).

En relación al tiempo de ejecución, los rendimientos de remoción de soldaduras dañadas versus los de reposición resultan tener un mayor rendimiento los del ítem 2, presentando una

diferencia entre sí de un 1.79% en 1 metro lineal de reparación. El ítem 1 representa un 34.52% del tiempo total de la reparación, versus un 32.73% que implica el ítem 2.

En relación a los costos de material en el ítem más costoso, pese a que requirió suministrar 1 metro lineal de pletina 12x10 mm, el valor de este material sólo representó un 2.64% respecto del costo total de la actividad. Por otro lado, como se planteó inicialmente, el material más costoso de esta actividad y de la reparación en total en el largo considerado, correspondiéndose al material de soldadura, éste representó un 25.65% del costo total de la actividad (ítem 2).

6.5. Costos de estandarización proceso constructivo CE5.

La intervención propuesta, permite la reparación del perfil de EDPM dañado a nivel de superficie, pudiendo realizar dicha reparación sin la necesidad de hacer retiro del perfil, sin afectar su adhesión a las caras de los tableros ni implicar la sustitución parcial del perfil si éste puede ser reparado. De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.5.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE5

Descripción: Cortes sobre perfil de EPDM inflable - Jeene.

Considera: Reparación de cortes y/o rasgaduras sobre perfil de EPDM serie JJ5070VV de sección 50x80mm en una proyección de 1 metro de longitud. Se efectúa mediante proceso de vulcanizado en frío.

Dimensiones: Área de reparación 0,065x1m. Se ha considerado un 30% adicional para cubrir la superficie real del perfil, la sección mencionada solo establece el ancho del perfil medido a la horizontal.

Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Preparación de superficie: cepillar con medio abrasivo, limpieza y aplicación de acondicionador de superficie Belzona 2911.	ml	1	\$ 33.948	UF 0,95
2	Reparación de superficie y cortes mediante vulcanizado en frío por Belzona 2111 y tela de refuerzo 9341.	ml	1	\$ 110.557	UF 3,09
3	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 6.792	UF 0,19

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)	\$ 151.297
---	-------------------

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)	UF 4,23
--	----------------

Figura 6.5: Costos de estandarización proceso constructivo CE5.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Si bien, el 52.85% del tiempo de la reparación es requerido para el ítem 1 generando la limpieza y preparación de la superficie para una óptima adherencia entre el perfil y el producto de vulcanizado en frío, significando un 22.43% del costo total de la reparación; el mayor costo se encuentra en el material de vulcanizado en frío, el cual, por sí solo, representa un 78.06% respecto del costo del ítem 2 y un 57.04% respecto del costo total de la reparación. Pero, aun así, implica un costo más bajo a lo requerido para generar el retiro y sustituir por una pieza nueva con su respectiva instalación, para lo cual, esto último según la propuesta número E3 significa un costo de 90.06% mayor que esta opción de reparación propuesta. Costo que considera de la propuesta E3: ítem 1 al 100%, ítem 4 al 100%, ítem 5 al 100% e ítem 6 al 92.98%.

6.6. Costos de estandarización proceso constructivo CE6.

Esta propuesta considero el retiro parcial del perfil afectado por pérdida de adhesión a la cara de la junta. Se extrae la pieza de EPDM, se preparan las superficies a adherir y se reinserta en la cavidad conservando el mismo perfil extraído (considerando que el estado del perfil lo permita). También se considera que el estado de conservación de los hombros de transición se encuentra sanos y estable. De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.6.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE6					
Descripción: Falla por adhesión a la cara de la junta. Considera: Extraer el tramo afectado realizando un corte transversal en cada extremo; remover todo el adhesivo existente, preparar superficies, sellar y presurizar perfil extraído; volver a instalar con adhesivo fresco. Dimensiones: perfil JJ5070W EPDM para junta de 50mm de ancho y se proyecta en 1 metro lineal.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; Corte y retiro de perfil en tramo dañado; retiro de adhesivo en paredes de tableros y limpieza.	ml	1	\$ 29.023	UF 0,81
2	Retiro de pegamento adherido, raspe y acondicionamiento de acanaladuras; tapar extremos y prueba de presurización.	ml	1	\$ 91.221	UF 2,55
3	Aplicación de adhesivo, instalación y presurización del perfil.	ml	1	\$ 126.231	UF 3,53
4	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 6.792	UF 0,19
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	253.266
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	7,08

Figura 6.6: Costos de estandarización proceso constructivo CE6.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Analizando los costos obtenidos, las actividades más costosas se encuentran en los ítemes 2 y 3, dominando en ambos la mayor incidencia en los costos el precio de los materiales necesarios para adherir el perfil EDPM al concreto de los tableros y el pegamento para sello del perfil a presurizar (instalación de tapas y válvula).

En el ítem 2, el costo en materiales cubre un 82.57% del costo total de la actividad, de ellos, lidera el pegamento para sello del perfil cubriendo un 45.27% del costo de la actividad y el producto para remoción de adhesivo un 18.96% de la actividad. Sin embargo, pese a que la

cantidad de tiempo que requiere la actividad respecto del total de la reparación es el mayor respecto del resto de los ítemes incidiendo en un 41.67%, los costos que ello implica en mano de obra y proporcional de arriendo en máquinas y herramientas significa sólo un 17.42% del costo de la actividad total.

El ítem 3, siendo el costo más significativo del total de la reparación abarcando un 49.84% del costo total de la reparación, el costo en materiales cubre un 86.53% del costo total de la actividad; la parte restante es en mano de obra y el proporcional de arriendo en máquinas y herramientas demandados por un tiempo de ejecución en esta actividad que representa un 17.85% del total de la reparación. Dentro de los costos de materiales más incidentes se encuentran: adhesivo epóxico de para unión a concreto con un 33.02% del total de los materiales y adhesivo de sello entre EPDM con un 32.71%.

6.7. Costos de estandarización proceso constructivo CE7.

Esta propuesta de reparación es la que genera un mayor costo respecto del costo total de reparación del sistema de cantonera al que pertenece, debido a que la necesidad de reparar sólo el hombro de transición implica también, realizar las actividades necesarias para garantizar una adecuada adhesión del perfil Jeene a las caras de los tableros. De acuerdo a las dimensiones del perfil utilizado para este estudio y dimensiones de la sección transversal del hombro de transición correspondiente, la cara vertical del hombro de transición comprende un 92% de la altura de adherencia del perfil Jeene, por lo cual, al haber daños por fragmentación y/o deformación en el hombro de transición, o bien, su reparación requiera de remover el hombro dañado, éste compromete directamente la sujeción del perfil Jeene. De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.7.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE7

Descripción: Daño en hombro de transición (sello de EPDM inflable - Jeene)

Considera: Corte transversal de perfil en extremos de inicio y término de falla; corte, demolición y retiro de blockout dañado, considerando sección de 50x40mm; Reposición de Blockout; reposición de perfil Jeene reutilizando la pieza extraída.

Dimensiones: perfil JJ5070W EPDM para junta de 50mm de ancho y se proyecta en 1 metro lineal.

Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; Corte y retiro de perfil en tramo dañado.	ml	1	\$ 6.869	UF 0,19
2	Corte, demolición y retiro de hombro elastomérico dañado. Considera sección 50x40mm acorde al perfil.	ml	1	\$ 9.832	UF 0,27
3	Reposición de blockout en mortero elastomérico de sección 50x40mm.	ml	1	\$ 131.300	UF 3,67
4	Acondicionamiento de perfil Jeene: Remoción de adhesivo, raspe y acondicionamiento de acanaladuras.	ml	1	\$ 33.590	UF 0,94
5	Sello de extremos de perfil Jeene, instalación de válvula y prueba de presurización.	Gl	1	\$ 62.511	UF 1,75
6	Retiro de moldaje, biselado de borde, preparación de superficies e instalación de perfil Jeene: Aplicación de adhesivo, instalación y presurización del perfil.	ml	1	\$ 100.336	UF 2,80
7	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 9.860	UF 0,28

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)	\$ 337.596
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)	UF 9,44

Figura 6.7: Costos de estandarización proceso constructivo CE7.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En vista de lo anterior, analizando la implicancia en los costos de ambas intervenciones por separado, el costo total de sólo reparar el hombro de transición representa un 41.80% del costo total de la reparación. Por otro lado, el costo de extraer, preparar y volver a instalar el perfil de EPDM en la cavidad entre tableros de donde se extrajo, implica el 58.2% adicional del costo total de esta intervención. Es una acción costosa y mayor al costo directo de la intervención principal, pero, necesaria para llevar a cabo de forma adecuada la reparación y lograr el sello de diseño.

El material que representa el costo más alto dentro de los materiales que requiere esta reparación es el mortero elastomérico, representando un 34.91% del total de los materiales requeridos para la reparación y un 84.88% de los materiales que se requieren para la actividad del ítem 3.

6.8. Costos de estandarización proceso constructivo CE8.

De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.8.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE8					
Descripción: Daños en labio de transición, en sellos y fijaciones sueltas. Considera: Remoción del labio elastomérico dañado, remoción de sellos dañados sobre fijaciones, apriete y torqueo de fijaciones y, reposición de sellos elastoméricos. Dimensiones: labios de transición de sección 70x35mm (1 unidad) y 6 sellos de fijaciones de área 36x72mm y profundidad de 30mm.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; Demolición y retiro de labio de transición y sellos de fijaciones, limpieza; retiro y reemplazo de tuercas y arandelas por unidades nuevas, torqueo.	ml	1	\$ 40.258	UF 1,13
2	Reposición de mortero elastomérico sobre labio de transición y unidades de fijaciones.	ml	1	\$ 48.083	UF 1,34
3	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 9.860	UF 0,28
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	98.200
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	2,75

Figura 6.8: Costos de estandarización proceso constructivo CE8.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Pese a la similitud en los costos entre el ítem 1 y 2, en el primero, su costo está sustentado en un equilibrio entre los costos de materiales requeridos y los costos variables al tiempo requerido (mano de obra y arriendo de máquinas y herramientas), considerándose su incidencia en el costo total de la actividad en un 48.06% y un 51.94% respectivamente. Implicó un mayor requerimiento de tiempo de ejecución respecto del ítem 2, representando un 49.38% del tiempo total requerido de reparación.

En cuanto al ítem 2, su requerimiento de tiempo de ejecución representa un 19.75%, pero el costo más incidente de esta actividad se encuentra en los materiales, asumido mayormente

por el costo del mortero elastomérico que significa un 67.11% del costo de la actividad y un 78.94% en los costos de los materiales para tal actividad.

6.9. Costos de estandarización proceso constructivo CE9.

De acuerdo a lo especificado en materialidad y proceso constructivo para esta propuesta de estandarización en el capítulo 5, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.9.

COSTOS DE ESTANDARIZACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO CE9					
Descripción: Deterioro en hombro de apoyo. Considera: Remoción de labio elastomérico; corte transversal y levante de módulo elastomérico reforzado; demolición de hombro dañado y retiro de anclajes existentes; Reposición de 3 unidades de anclajes en varillas 5/8", reposición de hombro de apoyo en mortero polimérico grado G40; reposición de módulo, sellar cortes (vulcanizado en frío), e instalar fijaciones y torqueo; reponer labio elastomérico y sello sobre fijaciones mediante mortero elastomérico. Dimensiones: Labio de transición de sección 70x35mm (1 unidad); 6 sellos de fijaciones de área 36x72mm y profundidad de 30mm; hombro de apoyo sección 150x50mm (1 unidad).					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; demolición y retiro de labio de transición y sellos de fijaciones; retiro de tuercas y arandelas; corte transversal de perfil elastomérico y extracción; demolición de hombro, retiro de anclajes y limpieza.	ml	1	\$ 61.690	UF 1,72
2	Reposición hombro de apoyo sección 150x50mm L=1.0m	ml	1	\$ 111.365	UF 3,11
3	Reposición de anclajes (5/8") e instalación de modulo extraído sellando los cortes mediante vulcanizado en frío.	ml	1	\$ 195.202	UF 5,46
4	Reposición de labios elastoméricos sección 70x35mm L=1.0m y sellos sobre fijaciones.	ml	1	\$ 47.386	UF 1,32
5	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 12.929	UF 0,36
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	428.570
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	11,98

Figura 6.9: Costos de estandarización proceso constructivo CE9.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Respecto del ítem 1, su mayor incidencia se encontró en el tiempo requerido de ejecución, el cual, representa el 30.69% del tiempo total de la reparación. El costo de mano de

obra y de máquinas y herramientas que se encuentran ligados a variar directamente con esta variable representan un 65.34% del costo de la actividad y el 34.66% restante corresponde al costo de materiales.

En el ítem 2, se observa la mayor incidencia en el costo en los materiales, pero de ellos, asume casi la totalidad de la incidencia el costo del mortero epóxico de reparación representando un 93.12% en el costo de los materiales y un 81.34% del costo total de la actividad. El tiempo de ejecución sólo implicó un 13.95% del total de la reparación.

Respecto del ítem 3, el que presenta el costo más alto dentro de las actividades, pese a que también implicó el mayor tiempo de ejecución entre el resto de las actividades representando un 36.27%, el mayor costo radica en los materiales correspondiendo a un 79.21% del costo total de la actividad, destacando entre ellos, el material más incidente fue el kit de vulcanizado en frío (Belzona 2111) generando un costo de 54.09% respecto del total de los materiales para la actividad, luego, seguiría el costo del adhesivo químico de anclaje representando un 18.71% del costo de los materiales.

Por último, el ítem 4 refleja el menor de los costos entre las actividades necesarias para la reparación propuesta, su costo más incidente se observa en los materiales representando un 82.96% de los costos de la actividad. El material más incidente en el costo es el mortero elastomérico que representa un 68.87% del costo de los materiales.

6.10. Comparación de costos de reparación del sistema completo versus costos de reparación parcial para las 9 propuestas de estandarización.

De acuerdo a los 3 sistemas de cantoneras que se han considerado para elaborar las propuestas de estandarización, se ha realizado el estudio de los costos necesarios para el caso de efectuar la reparación completa (reemplazo total del sistema de cantonera empleado) en cada uno de los tres sistemas a fin de poder medir y tener un punto de comparación para dimensionar y analizar el real beneficio económico que otorga cada una de las propuestas elaboradas, en lo que respecta a los costos directos de las actividades correspondientes.

6.10.1. Costos de reparación M2.

Considera los costos de reparación por sustitución completa del sistema de cantonera de placa deslizante, en adelante, identificándose esta intervención como M2.

a) Costos de reparación sistema completo.

Se evaluó el costo que implicaría el reemplazo total del sistema de cantonera tipo placa deslizante, considerando extraer en 1 metro lineal: la placa deslizante, pletina de tope, demoler ambos bordes de tableros en una sección de 25x15cm, retirar ambos perfiles guarda canto y sus correspondientes espárragos de anclaje. Asimismo, reponer todo lo extraído conservando las mismas dimensiones y calidad de los materiales considerados en las propuestas de reparación presentadas para este sistema de cantonera, como también, sus correspondientes sellos bituminosos. De acuerdo a lo mencionado, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.10.

COSTOS REPARACIÓN TOTAL SISTEMA M2					
Descripción: Reemplazo de conjunto completo de placa deslizante. Considera: Remoción de sello bituminoso. Corte transversal de placa deslizante en inicio y fin de tramo dañado. Demolición y retiro de borde de anclaje a tablero en sección 25x15cm. Corte y retiro de perfil angulo y anclajes empotrados en el tablero (4 unidades por lado). Reposición de placa deslizante tipo 135x10x1000mm con 3 puntos de soldaduras de tapón. Reposición de perfiles angulo 80x80x8mm y sus correspondientes 8 espárragos en pletina 10x15mm por lado.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Retiro de placa deslizante y pletina de tope; remoción de sello bituminoso, de soldaduras filete y de tapón.	ml	1	\$ 121.111	UF 3,39
2	Corte y demolición de ambos bordes de tablero en sección 25x15cm.	ml	1	\$ 97.024	UF 2,71
3	Corte y extracción de guarda cantos y anclajes.	ml	1	\$ 19.783	UF 0,55
4	Reposición de guarda cantos; instalación de moldajes	ml	1	\$ 178.070	UF 4,98
5	Hormigonado de bordes de tableros.	ml	1	\$ 60.376	UF 1,69
6	Restitución de placa deslizante y pletina de tope.	ml	1	\$ 160.388	UF 4,48
7	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 38.967	UF 1,09
8	Limpieza y normalización del área.	ml	1	\$ 30.293	UF 0,85
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	706.012
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	19,74

Figura 6.10: Costos de reparación total sistema M2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Las mayores similitudes respecto de la metodología de trabajo y materiales empleados en las propuestas elaboradas se pueden hallar en los ítemes 6 y 7, compartiendo un alcance similar en las actividades con respecto a los ítemes 2 y 3 tanto en CE3 como en CE4.

Respecto del ítem 6, es equivalente al ítem 2 en CE3 y CE4, de los cuales, la suma de ambos solo genera una diferencia que resulta ser un 0.13% mayor al costo obtenido en M2, lo cual, es de entender que, al sumar los trabajos parcializados, se están considerando dos veces instancias de tiempos menores dentro de la partida, tales como, las de preparación de equipos de soldadura.

En cuanto al ítem 7, al sumar el ítem 3 de CE3 y CE4 se obtiene una diferencia más distinguible siendo aproximadamente un 31% mas costoso que en M2, lo que resulta debido a que, al ser dos partidas separadas, se está considerando 2 veces el requerimiento de tiempo para la preparación y precalentamiento de la caldera para la fundición del mastic asfáltico.

El resto de los ítemes escapan de relacionar similitudes con las propuestas de reparación parcial debido a que sus intervenciones son en condiciones críticas y abordan la interacción con elementos que conforman las bases de anclaje del sistema.

b) Resumen de costos de reparaciones parciales versus reparación completa.

Resumiendo, los resultados obtenidos entre los costos de las propuestas elaboradas y el costo total de reparación presentado recientemente, se agrupan todas las propuestas en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6.1: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.

Tipo de cantonera	Propuesta de estandarización	Código	Costo directo	Relación porcentual
Placa Deslizante (M2)	Costo reparación total sistema	M2	\$ 706.012	100%
	Estandarización N°1	CE1	\$ 197.080	28%
	Estandarización N°2	CE2	\$ 135.013	19%
	Estandarización N°3	CE3	\$ 197.322	28%
	Estandarización N°4	CE4	\$ 151.358	21%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo a los datos numéricos obtenidos, es suficiente para expresar las conclusiones del beneficio que otorgan las propuestas de reparación parcial frente al

costo de reparación total, pero a modo de evidenciar visualmente las diferencias se ilustra la relación de costos en el gráfico de barras 6.1 a continuación:

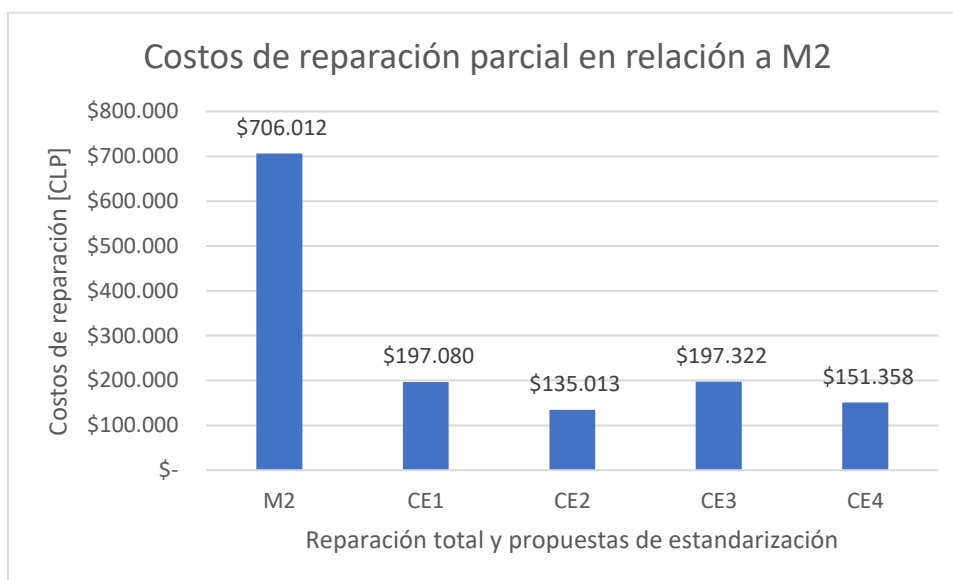


Gráfico 6.1: Costos de reparación parcial en relación a M2.

Fuente: Elaboración propia, 2021

En relación a la tabla 6.1 y el gráfico 6.1, se ha comparado la relación porcentual de cada una de las intervenciones que se han propuesto con respecto al costo de reparación total, demostrando que cada una de las operaciones de mantenimiento que se han presentado para este sistema de cantonera, no alcanza a superar un 30% del costo de reparación total, corroborando que, en tema de costos directos, el mantenimiento correctivo reduce significativamente los costos además de ser técnicamente posible parcializar sus intervenciones necesarias para preservar la vida útil de las cantoneras de placa deslizante.

6.10.2. Costos de reparación E3.

Considera los costos de reparación por sustitución completa del sistema de cantonera elastomérica de EPDM inflable, en adelante, identificándose esta intervención como E3.

a) Costos de reparación sistema completo.

Se evaluó el costo total que implicaría el reemplazo total del sistema de cantonera tipo Jeene, considerando sustituir 1 metro lineal de perfil de EPDM inflable, demoler ambos hombros de transición y, reponer todo lo extraído conservando las mismas dimensiones y calidad de los materiales considerados en las propuestas de reparación presentadas para este sistema de junta, pero, la restitución del perfil Jeene se considera por una unidad nueva. De acuerdo a lo mencionado, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.11.

COSTOS REPARACIÓN TOTAL SISTEMA E3					
Descripción: Reemplazo total del sistema de sello de EPDM inflable Considera: Corte transversal de perfil en extremos de inicio y término de falla; corte, demolición y retiro de blockouts (labios de borde) considerando sección de 50x40mm para cada blockout; Reposición de Blockouts; reposición de nuevo perfil Jeene. Dimensiones: perfil JJ5070W EPDM para junta de 50mm de ancho y se proyecta en 1 metro lineal.					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; Corte y retiro de perfil en tramo dañado.	ml	1	\$ 6.869	UF 0,19
2	Corte, demolición y retiro de blockouts en mortero elastomérico considerando sección 50x40mm.	ml	1	\$ 18.222	UF 0,51
3	Reposición de Blockouts en mortero elastomérico sección 50x40mm.	ml	1	\$ 251.102	UF 7,02
4	Suministro, dimensionado y acondicionamiento de perfil Jeene a restituir: Raspe y acondicionamiento de acanaladuras.	ml	1	\$ 125.892	UF 3,52
5	Sello de extremos de perfil Jeene, instalación de válvula y prueba de presurización.	Gl	1	\$ 62.511	UF 1,75
6	Retiro de moldaje, biselado de bordes, preparación de superficies e instalación de perfil Jeene: Aplicación de adhesivo, instalación y presurización del perfil.	ml	1	\$ 100.336	UF 2,80
7	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 9.860	UF 0,28
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	549.702
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	15,37

Figura 6.11: Costos de reparación total sistema E3.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

b) Resumen de costos de reparaciones parciales versus reparación completa.

Resumiendo, los resultados obtenidos entre los costos de las propuestas elaboradas y el costo total de reparación presentado recientemente, se agrupan todas las propuestas en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6.2: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.

Tipo de cantonera	Propuesta de estandarización	Código	Costo directo	Relación porcentual
Jeene (E3)	Costo reparación total sistema	E3	\$ 549.702	100%
	Estandarización N°5	CE5	\$ 151.297	28%
	Estandarización N°6	CE6	\$ 253.266	46%
	Estandarización N°7	CE7	\$ 337.596	61%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo a los datos numéricos obtenidos, es suficiente para expresar las conclusiones del beneficio que otorgan las propuestas de reparación parcial frente al costo de reparación total, pero a modo de evidenciar visualmente las diferencias se ilustra la relación de costos en el gráfico de barras 6.2 a continuación:

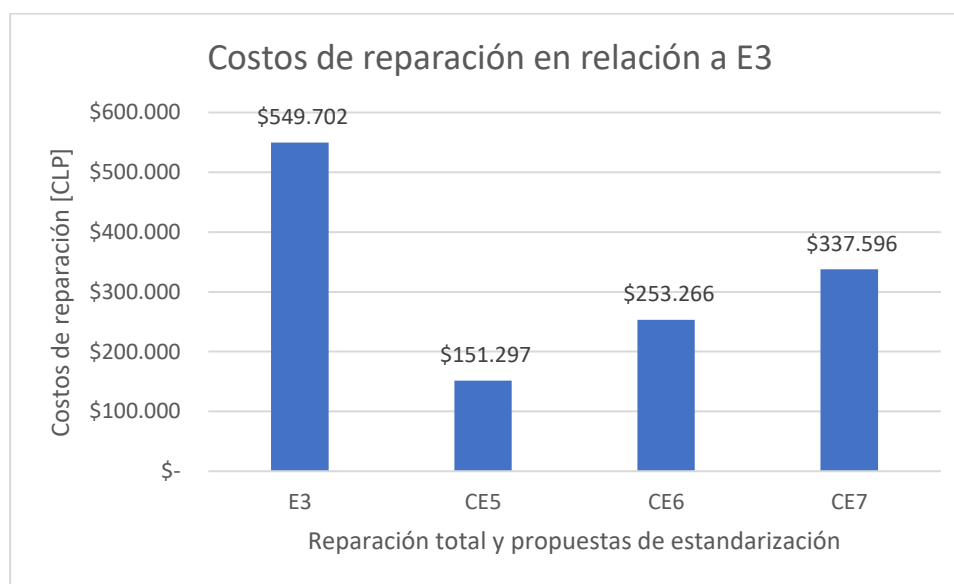


Gráfico 6.2: Costos de reparación parcial en relación a E3.

Fuente: Elaboración propia, 2021

En vista de este costo total, se ha podido comparar la relación porcentual que existe con respecto a las intervenciones propuestas, pudiendo apreciar el beneficio real que otorga el mantenimiento correctivo en la baja de los costos.

En este caso, a diferencia del primer sistema de cantoneras, en la propuesta CE7., se obtiene el menor beneficio con una reducción del 39% respecto del costo total para la reparación a una de las fallas que presentó al menos un 67% de recurrencia aproximadamente. Resulta conveniente de emplear cuando se trate de reparaciones puntuales y casos en que sea posible conservar y extender la vida útil del perfil de EPDM existente.

En cuanto a las propuestas CE5. y CE6. sí se aprecia una reducción significativa respecto del costo total, alcanzando un beneficio del 72% y 54% respectivamente, corroborando que, en tema de costos directos, el mantenimiento correctivo del sistema de junta reduce significativamente los costos además de ser técnicamente posible parcializar sus intervenciones necesarias para preservar los existente.

6.10.3. Costos de reparación E4.

Considera los costos de reparación por sustitución completa del sistema de cantonera elastomérica reforzada, en adelante, identificándose esta intervención como E4.

a) Costos de reparación sistema completo.

Se evaluó el costo total que implicaría el reemplazo total del sistema de cantonera tipo elastomérica reforzada, considerando extraer en 1 metro lineal: ambos labios de transición, módulo elastomérico reforzado, mortero base de nivelación sobre hombros de apoyo en ambos lados y retiro de anclajes. Asimismo, reponer todo lo extraído conservando las mismas dimensiones y calidad de los materiales considerados en las propuestas de reparación presentadas para este sistema de junta, como también, reponer el módulo elastomérico reforzado por una nueva unidad. De acuerdo a lo mencionado, se han obtenido los siguientes costos directos presentados en la figura 6.12.

COSTOS REPARACIÓN TOTAL SISTEMA E4					
Descripción: Reemplazo total de sistema de sello elastomérico reforzado. Considera: Remoción de ambos labios elastoméricos, retiro de modulo y anclajes, demolición y retiro de hombros de apoyo (ambos lados); Reposición. Dimensiones: Labios de transición de sección 70x35mm (2 unidades); 6 sellos de fijaciones de área 36x72mm y profundidad de 30mm; 6 varillas de anclaje 5/8"; hombros de apoyo sección 150x50mm (2 unidades).					
Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Trazado; demolición y retiro de labios de transición y sellos de fijaciones; retiro de módulo; demolición de hombro; retiro de anclajes y limpieza; reposición con módulo nuevo.	ml	1	\$ 85.495	UF 2,39
2	Reposición hombros de apoyo sección 150x50mm L=1.0m	ml	1	\$ 211.757	UF 5,92
3	Reposición de anclajes (5/8") y reposición e instalación de nuevo modulo.	ml	1	\$ 527.004	UF 14,73
4	Reposición de labios elastoméricos sección 70x35mm L=1.0m y sellos sobre fijaciones.	ml	1	\$ 82.187	UF 2,30
5	Limpieza y normalización de área.	ml	1	\$ 12.929	UF 0,36
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)				\$	919.371
TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)				UF	25,70

Figura 6.12: Costos de reparación total sistema E4.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

b) Resumen de costos de reparaciones parciales versus reparación completa.

Resumiendo, los resultados obtenidos entre los costos de las propuestas elaboradas y el costo total de reparación presentado recientemente, se agrupan todas las propuestas en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6.3: Resumen de costos reparación parcial versus reparación completa.

Tipo de cantonera	Propuesta de estandarización	Código	Costo directo	Relación porcentual
Elast. Reforzada (E4)	Costo reparación total sistema	E4	\$ 919.371	100%
	Estandarización N°8	CE8	\$ 98.200	11%
	Estandarización N°9	CE9	\$ 428.570	47%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo a los datos numéricos obtenidos, es suficiente para expresar las conclusiones del beneficio que otorgan las propuestas de reparación parcial frente al costo de reparación total, pero a modo de evidenciar visualmente las diferencias se ilustra la relación de costos en el gráfico de barras 6.3 a continuación:

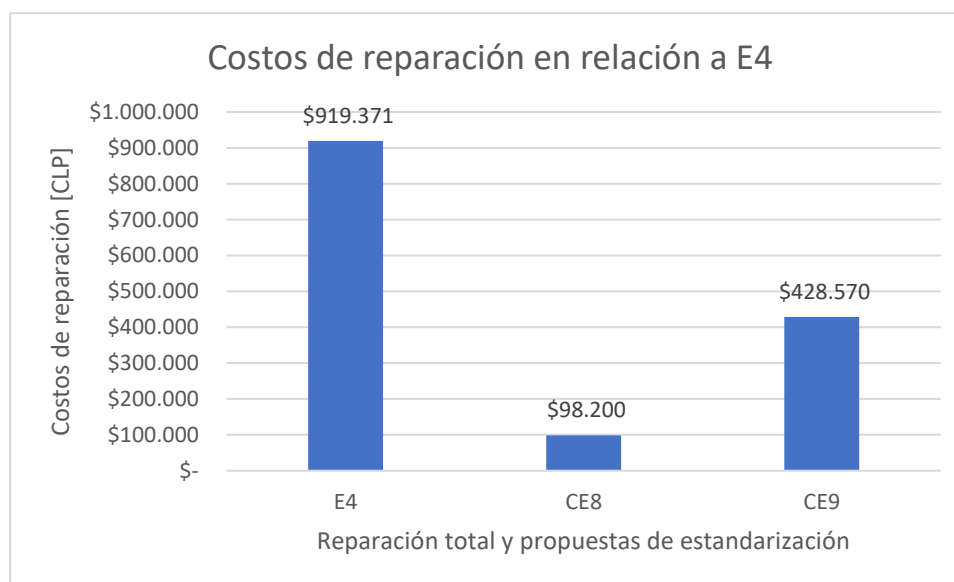


Gráfico 6.3: Costos de reparación parcial en relación a E4.

Fuente: Elaboración propia, 2021

En vista de este costo total, se ha comparado la relación porcentual con respecto a cada una de las intervenciones propuestas, demostrando que en ambos casos las operaciones de mantenimiento necesario no alcanzan a superar un 50% del costo de reparación total. La propuesta E.8. genera un beneficio de un 89% y la propuesta E.9.

pese al caso severo de intervención que implica llevar la reparación al hombro base de anclaje, aun así, permite generar un beneficio de un 53% en disminución respecto del costo total. Reafirmando nuevamente que, en tema de costos directos, el mantenimiento correctivo del sistema de junta reduce significativamente los costos además de ser técnicamente posible parcializar sus intervenciones necesarias para preservar lo existente.

CONCLUSIONES.

De las cantoneras identificadas:

Los 49 puentes inspeccionados en la región de Valparaíso, lograron cubrir las diferentes condiciones en las que se pueden encontrar las cantoneras, condiciones necesarias de considerar para el comportamiento de los sistemas frente a la diversidad de escenarios climáticos presentes en Chile, condiciones medio ambientales, cargas de tráfico y envergadura de puentes.

Respecto de los tipos de cantoneras identificadas, las abarcadas en este estudio representan al 60% del total identificadas en la literatura. Entre ellas, el sistema más utilizado resultó ser el de EPDM inflable (Jeene) que representa a un 34% del total, luego el sistema de placa deslizante con un 32 % del total y por último por elastoméricas reforzadas encontradas en un 18% de los casos inspeccionados.

De las fallas identificadas:

La acumulación de escombros en las cantoneras se consideró como un riesgo, y como tal, es necesario considerar como acción preventiva, su remoción y limpieza de estas superficies como una operación de mantenimiento rutinario en puentes. Se halló suficiente evidencia teórica y empírica demostrando que, al permanecer atrapados en las cantoneras, son incidentes ocasionando fallas por: levantar placas deslizantes, rasgar y hundir perfiles Jeene, rasgar y limitar la capacidad de movimiento en módulos elastoméricos reforzados, además de, deteriorar el pavimento o bordes aledaños a las cantoneras.

Respecto de las fallas a causa de problemas de adhesión en el sistema Jeene, es importante de considerar que además de ejecutar una adecuada preparación de las superficies de contacto, implicando esto, la remoción total del adhesivo presente de la aplicación anterior, es de suma importancia que se ejecute la actividad de instalación considerando sellar los extremos del perfil y su debida presurización durante el tiempo que requiera el adhesivo para endurecer.

Con el fin de mejorar las condiciones de sello en cantoneras elastoméricas reforzadas, la debilidad que presentan en las inevitables filtraciones de agua a través de las uniones entre módulos, se plantea implementar en el proceso de instalación, aplicar el sistema de vulcanizado en frío que se ha propuesto ya que es compatible con la materialidad de los módulos en parámetros a requerir en dureza, elongación y adherencia.

Considerando el caso de la falla E4.F5.1., correspondiente a daños en los hombros de apoyo en cantoneras de tipo elastomérica reforzada, es un indicador de las posibles consecuencias que puede ocasionar el no efectuar de manera correcta la debida auscultación

sobre las superficies que son bases de apoyo para sustentar al sistema cantonera a emplear. Para este sistema de cantonera, un hombro de apoyo con debilidad estructural, implicará en un corto tiempo que su reparación considere un costo de al menos un 47% del costo total de reemplazar el sistema completo.

De las propuestas de estandarización:

Los sistemas de cantoneras que presentaron mayores oportunidades de realizar intervenciones de reparación de forma parcializada sin involucrar demandar más del 50% del costo de reparación total del dispositivo, son las cantoneras de placa deslizante y elastoméricas reforzadas.

Las cantoneras de placa deslizante, a diferencia de los sistemas elastoméricos, permitieron un rápido y directo acceso a la información de los materiales a emplear en sus reparaciones respecto de especificaciones técnicas, stock disponible, debido a que la totalidad de los materiales que la conforman se encuentran dentro del mercado nacional y sus piezas pueden ser perfectamente fabricadas en obra o prefabricadas en maestranzas. No así, los sistemas elastoméricos, ya que su stock en el mercado nacional es escaso y mayormente a pedido, a través de sus representantes en Chile o directo a las fábricas de cada sistema, realizándose las importaciones de los productos necesarios como: morteros elastoméricos, adhesivos epóxicos y perfiles elastoméricos directo desde sus fábricas, de acuerdo a los requerimientos de cada proyecto. Por lo cual, el sistema metálico genera una ventaja al permitir atender las reparaciones planteadas de manera más inmediata respecto de las soluciones en cantoneras elastoméricas.

Las cantoneras de tipo Jeene, al ser un sistema muy dependiente entre sus componentes, sean estos: perfil de EPDM inflable, adhesivo lateral y hombros de transición; al fallar alguno de los hombros de transición, la remoción y reparación de este material dañado condiciona a trabajar al menos el 60% de la reparación total del sistema.

De los costos:

Los costos de las propuestas presentadas han reflejado que el concepto establecido en la literatura que, las operaciones de mantenimiento en sistemas de cantoneras de placa deslizante son más costosos económicamente que en sistemas de cantoneras elastoméricas, no resultó así al parcializar las posibles intervenciones a realizar, pero, para lograr llegar a tiempo a corregir el deterioro superficial en estos elementos, es necesario que a futuro se complemente este estudio con un plan de inspección rutinario a estos sistemas de cantoneras, donde se pueda establecer una periodicidad adecuada para las instancias de revisión.

En términos de costos totales directos, el sistema de cantonera de placa deslizante, presentó la mayor similitud entre los costos de sus intervenciones parcializadas, las cuales,

oscilaron entre un rango de un 19% al 28% del costo total que implica el reemplazo total del sistema.

El sistema Jeene, ofrece las menores ventajas de obtener bajos costos de mantención correctiva, debido a que los componentes de su sistema son muy dependientes entre sí para lograr mantener su estabilidad.

En relación a los costos totales directos por metro lineal que significó cada una de las propuestas de estandarización presentadas, se comprueba el beneficio económico que otorgan en la reducción de los costos totales que implican actualmente las operaciones de mantenimiento por sustitución del sistema completo.

En sistemas de cantoneras de placa deslizante, los costos de las propuestas resultaron en un rango desde un 19% a un 28% del costo de sustitución total.

En cantoneras elastoméricas de EPDM inflable, los costos de las propuestas resultaron en un rango desde un 28% a un 61% del costo de sustitución total.

En cantoneras elastoméricas reforzadas, los costos de las propuestas resultaron en un rango que va desde un 11% a un 47% del costo de sustitución total.

A la hipótesis:

En vista de los resultados obtenidos respecto de las inspecciones realizadas y el análisis de las fallas, se confirma que las cantoneras requieren de mantenimiento preventivo en un 100% de los casos analizados. Las cantoneras en puentes que requieren de mantenimiento correctivo antes de ser requerido el reemplazo total del sistema, conforman al 89.2% de los casos estudiados y las cantoneras que si requieren de reemplazo total del sistema empleado conforma al 10.8% restante de los casos analizados.

Respecto de las fallas detectadas que ponen en riesgo la seguridad de operación de los puentes analizados, se identificó que un 56.7% de los casos analizados, presenta fallas que compromete la seguridad de los usuarios.

En cuanto a las fallas detectadas en los sistemas analizados que afectan la durabilidad de elementos estructurales de los puentes, se identificó que un 78.4% de los casos analizados posee al menos una falla que afecta a dicha condición.

Por lo tanto, los datos obtenidos y la factibilidad técnica en la ejecución de las intervenciones propuestas, confirman el requerimiento de mantenimiento en cantoneras para garantizar la seguridad de operación y vida útil de los puentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D 3542 (2003), “Standard Specification for Preformed Polychloroprene Elastomeric Joint Seals for Bridges”.
- ASTM D 3182 (1994), “Standard Practice for Rubber - Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets”.
- ASTM D 412 (2008), “Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension”.
- ASTM D 1084 (2005), “Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives”.
- ASTM D 4070 (2015), “Standard Specification for Adhesive Lubricant for Installation of Preformed Elastomeric Bridge Compression Seals in Concrete Structures”.
- Bouhaloufa, A., Zellat, K., Kadri, T., Bouhaloufa, A., Zellat, K., & Kadri, T. (2018). La evaluación probabilística del Flujo de Tráfico y Seguridad de Puentes. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 147–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000200147>.
- Carracedo Contador, M. (1994). *DE PONTIBUS*. Santiago, Chile.
- CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura). (2019). *Diálogo : Infraestructura Vial : Seguridad y Accidentabilidad*. 1–6. Retrieved from http://www.infraestructurapublica.cl/wp-content/uploads/2019/09/Minuta_XL_Dialogo_Infraestructura_Vial_Seguridad_Accidentabilidad.pdf.
- de la Cruz Camey, C. E. (2005). *CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN USADAS EN PUENTES, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA* (UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA). Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2508_C.pdf.
- de Solminihaç, H., Echavveguren, T., & Alondra, C. (2018). *GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL* (Tercera Ed). Santiago, Chile.
- Departamento de Seguridad Vial - MOP. (2020). Desafío Vigente. Retrieved from Desafío Vigente. website: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/seguridadvial/Paginas/default.aspx>.

- Díaz Vallejos, N. (2018). *PRIORIZACIÓN DE PUENTES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO BASADO EN INSPECCIÓN VISUAL* (UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA). Retrieved from <https://hdl.handle.net/11673/47820>.
- Dirección de Vialidad - MOP. (2022). Instrucciones y criterios de diseño. In *Manual de Carreteras - Volumen N°3* (2022th ed.).
- Dirección de Vialidad - MOP. (2022). Planos de obras tipo. In *Manual de Carreteras - Volumen N°4* (2022th ed.).
- Dirección de Vialidad - MOP. (2022). Especificaciones técnicas generales de construcción. In *Manual de Carreteras - Volumen N°5* (2022th ed.).
- Dirección de Vialidad - MOP. (2022). Mantenimiento vial. In *Manual de Carreteras - Volumen N°7* (2022th ed.).
- Horn, G. (2017, December 29). La infraestructura vial es responsable de 500 víctimas fatales al año. *Diario El Mostrador*.
- Ingeweek. (2019). Se monitorearán más de mil puentes en Chile con innovadora tecnología. Retrieved from <https://www.ingeweek.com/se-monitorearan-mas-de-mil-puentes-de-chile-con-innovadora-tecnologia-restudio/>.
- Kröger, S. (2013, August 30). JUNTAS DE DILATACION PARA PUENTES ANCLADAS, LA SOLUCION DEFINITIVA. *Revista Vial*. Retrieved from <http://revistavial.com/juntas-de-dilatacion-para-puentes-ancladas-la-solucion-definitiva/>.
- mccopa. (2018). Chile anuncia plan de reparación de puentes para el 2018-2023. *Construcción Pan-Americana*. Retrieved from <https://www.construccion-pa.com/noticias/chile-anuncia-plan-reparacion-puentes-2018-2023/>.
- Molina Schulz, N. (2012). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PUENTES BAJO ENFOQUE DE PRIORIZACIÓN DE LA INVERSIÓN* (Universidad Austral de Chile). Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfcim722d/doc/bmfcim722d.pdf>.
- Muñoz, E., & Gómez, D. (2013). Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(1), 37–62. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732013000100003>.

- NCHRP. (2003). NCHRP Synthesis 319, Bridge Deck Joint Performance, A Synthesis of Highway Practice. *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM*, 58.
- Ortúzar Núñez, C. (2007). *SOLUCIONES DE SELLOS PARA JUNTAS EN TABLEROS DE PUENTES* (UNIVERSIDAD DE CHILE). Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/ortuzar_c/sources/ortuzar_c.pdf.
- Quezada Moreno, L., & Quiroga Abarca, D. (2019). *ESTUDIO TÉCNICO REFERENTE A LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE LOS CASTAÑOS EN VIÑA DE MAR* (UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA). Retrieved from <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/48819>.
- Raina, V. (2003). Concrete bridges inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation. *Mc Graw -Hill Publishing, USA*.
- Salinas, E., & CPI (Consejo de Políticas de Infraestructura). (2018, January 5). *Cuando sales de Santiago, la calidad de la infraestructura vial decae*. Retrieved from <http://www.infraestructurapublica.cl/cuando-sales-de-santiago-la-calidad-de-la-infraestructura-vial-decae/>.
- Santana Oyarzo, R. (2006). *MANTENCION DE PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTO* (Universidad Austral de Chile). Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmficis232m/doc/bmficis232m.pdf>.
- Tadeu Mascia, N., & Lenz Sartorti, A. (2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(1), 24. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100001>.
- Valenzuela Díaz, S. A. (2008). *METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE PUENTES A NIVEL DE RED BASADA EN INSPECCIÓN VISUAL* (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE). Retrieved from <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1427/506777.pdf;sequence=1>.

ANEXOS.

Anexo N°1: APU costos de reparación completa en M2.

COSTOS REPARACIÓN TOTAL SISTEMA M2

Descripción: Reemplazo de conjunto completo de placa deslizante.

Considera: Remoción de sello bituminoso. Corte transversal de placa deslizante en inicio y fin de tramo dañado. Demolición y retiro de borde de anclaje a tablero en sección 25x15cm. Corte y retiro de perfil angulo y anclajes empotrados en el tablero (4 unidades por lado). Reposición de placa deslizante tipo 135x10x1000mm con 3 puntos de soldaduras de tapón. Reposición de perfiles angulo 80x80x8mm y sus correspondientes 8 esparragos en pletina 10x15mm por lado.

Ítem	Descripción/Partida	Unidad	Cant.	Precio Unit. (CLP)	Precio Unit. (UF)
1	Retiro de placa deslizante y pletina de tope; remoción de sello bituminoso, de soldaduras filete y de tapón.	ml	1	\$ 121.111	UF 3,39
2	Corte y demolición de ambos bordes de tablero en sección 25x15cm.	ml	1	\$ 97.024	UF 2,71
3	Corte y extracción de guarda cantos y anclajes.	ml	1	\$ 19.783	UF 0,55
4	Reposición de guarda cantos; instalación de moldajes	ml	1	\$ 178.070	UF 4,98
5	Hormigonado de bordes de tableros.	ml	1	\$ 60.376	UF 1,69
6	Restitución de placa deslizante y pletina de tope.	ml	1	\$ 160.388	UF 4,48
7	Reposición de sello bituminoso.	ml	1	\$ 38.967	UF 1,09
8	Limpieza y normalización del área.	ml	1	\$ 30.293	UF 0,85

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (CLP)	\$ 706.012
---	-------------------

TOTAL COSTOS DIRECTOS 1 ml (UF)	UF 19,74
--	-----------------

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO		
1	Cortes transversales sobre placa deslizante; remoción de sello bituminoso, de soldaduras filete y de tapón.	ml	\$ 121.111		
A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	2,35	\$ 7.147	\$ 16.795
A.2	Maestro primera	HH	2,35	\$ 5.567	\$ 13.082
A.3	Ayudante de maestro	HH	2,35	\$ 4.138	\$ 9.724
A.4	Banderero	HH	2,35	\$ 3.761	\$ 8.838
A.5	Banderero	HH	2,35	\$ 3.761	\$ 8.838
Total Mano de Obra				\$	57.279
B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Tiza para demarcar 225gr	un	0,25	\$ 3.890	\$ 973
B.2	Marcador de metal blanco	un	0,20	\$ 4.990	\$ 998
B.3	Diesel	Lts	12,37	\$ 1.100	\$ 13.603
B.4	Disco diamantado de corte 4,5"	un	0,10	\$ 9.390	\$ 939
B.5	Disco de corte acero 4,5"	un	2,34	\$ 2.590	\$ 6.052
B.6	Disco de corte acero 7"	un	6,01	\$ 3.490	\$ 20.990
Total Materiales				\$	43.556
C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 57.279	\$ 2.864
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,248	\$ 39.270	\$ 9.745
C.3	Extensión 20 mts	día	0,248	\$ 4.000	\$ 993
C.4	Esmeril angular 4,5"	día	0,248	\$ 8.900	\$ 2.209
C.5	Esmeril angular 7"	día	0,248	\$ 10.500	\$ 2.606
C.6	Carretilla 90 Lts	día	0,248	\$ 7.500	\$ 1.861
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	20.277

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
2	Corte y demolición de ambos bordes de tablero en sección 25x15cm.	ml	\$ 97.024

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	2,17	\$ 7.147	\$ 15.509
A.2	Maestro primera	HH	2,17	\$ 5.567	\$ 12.062
A.3	Ayudante de maestro	HH	2,17	\$ 4.138	\$ 8.966
A.4	Banderero	HH	2,17	\$ 3.761	\$ 8.149
A.5	Banderero	HH	2,17	\$ 3.761	\$ 8.149
Total Mano de Obra				\$	52.834

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Tiza para demarcar 225gr	un	0,25	\$ 3.890	\$ 973
B.2	Diesel	Lts	9,19	\$ 1.100	\$ 10.105
B.3	Sacos de escombros 60x90cm	un	1,00	\$ 489	\$ 489
B.4	Disco diamantado de corte concreto 4,5"	un	0,25	\$ 9.390	\$ 2.348
B.5	Cinzel SDS max 18x600mm	un	0,15	\$ 12.900	\$ 1.935
Total Materiales				\$	15.849

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 52.834	\$ 2.642
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,241	\$ 39.270	\$ 9.454
C.3	Extensión 20 mts	día	0,241	\$ 4.000	\$ 963
C.4	Esmeril angular 4,5"	día	0,241	\$ 8.900	\$ 2.143
C.5	Martillo demoledor 16,8J	día	0,241	\$ 12.077	\$ 2.907
C.6	Carretilla 90 Lts	día	0,241	\$ 7.500	\$ 1.806
C.7	Compresor de aire eléctrico (Soplador)	día	0,241	\$ 35.000	\$ 8.426
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	28.340

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
3	Corte y extracción de guarda cantos y anclajes.	ml	\$ 19.783

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	0,37	\$ 7.147	\$ 2.621
A.2	Maestro primera	HH	0,37	\$ 5.567	\$ 2.041
A.3	Ayudante de maestro	HH	0,37	\$ 4.138	\$ 1.517
A.4	Banderero	HH	0,37	\$ 3.761	\$ 1.379
A.5	Banderero	HH	0,37	\$ 3.761	\$ 1.379
Total Mano de Obra				\$	8.937

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Marcador de metal blanco	un	0,10	\$ 4.990	\$ 499
B.2	Diesel	Lts	1,86	\$ 1.100	\$ 2.041
B.3	Disco de corte acero 7"	un	1,54	\$ 3.490	\$ 5.364
Total Materiales				\$	7.903

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 8.937	\$ 447
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,041	\$ 39.270	\$ 1.600
C.3	Extensión 20 mts	día	0,041	\$ 4.000	\$ 163
C.5	Esmeril angular 7"	día	0,041	\$ 10.500	\$ 428
C.6	Carretilla 90 Lts	día	0,041	\$ 7.500	\$ 306
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	2.943

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 3.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
4	Reposición de guarda cantos; instalación de moldajes	ml	\$ 178.070

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	1,30	\$ 7.147	\$ 9.291
A.2	Maestro primera	HH	1,30	\$ 5.567	\$ 7.237
A.3	Ayudante	HH	1,30	\$ 4.138	\$ 5.379
A.4	Banderero	HH	1,30	\$ 3.761	\$ 4.889
A.5	Banderero	HH	1,30	\$ 3.761	\$ 4.889
	Total Mano de Obra			\$	31.686

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Electrodos E60XX 5/32"	kg	1,72	\$ 9.238	\$ 15.889
B.3	Diesel	Lts	6,89	\$ 1.100	\$ 7.579
B.4	Placa terciado estructural 12x1200x2400mm	un	0,50	\$ 20.890	\$ 10.445
B.5	Listón 2x3" bruto	un	1,00	\$ 2.830	\$ 2.830
B.6	Listón 1x2" bruto	un	1,00	\$ 1.690	\$ 1.690
B.7	Tornillos para madera 9x2.1/2" (6 unidades)	un	1,00	\$ 790	\$ 790
B.8	Tornillos para madera 6x1" (6 unidades)	un	1,00	\$ 490	\$ 490
B.9	Disco de corte acero 7"	un	1,77	\$ 3.490	\$ 6.169
B.10	Disco sierra circular 7 1/4 60 dientes	un	0,02	\$ 26.990	\$ 540
B.11	Puntas phillips 2 unidades	un	0,10	\$ 4.990	\$ 499
B.12	Perfil angulo 80x80x8	m	2,00	\$ 15.415	\$ 30.830
B.13	Esparragos prefabricados en pletina 10x15x300mm	un	16,00	\$ 3.295	\$ 52.720
	Total Materiales			\$	130.471

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 31.686	\$ 1.584
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,144	\$ 39.270	\$ 5.672
C.3	Extensión 20 mts	día	0,144	\$ 4.000	\$ 578
C.4	Soldadora CST 280 monofásica 200A	día	0,144	\$ 15.123	\$ 2.184
C.5	Sierra circular 7 1/4 eléctrica	día	0,144	\$ 7.900	\$ 1.141
C.6	Taladro 3/8	día	0,144	\$ 9.500	\$ 1.372
C.7	Esmeril angular 7"	día	0,144	\$ 10.500	\$ 1.517
C.8	Banqueta de trabajo con prensa	día	0,144	\$ 12.900	\$ 1.863
	Total Maq. Herr. y Eq.			\$	15.912

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 4.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
5	Hormigonado de bordes de tableros.	ml	\$ 60.376

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro Soldador	HH	0,55	\$ 7.147	\$ 3.931
A.2	Maestro Primera	HH	0,55	\$ 5.567	\$ 3.062
A.3	Ayudante	HH	0,55	\$ 4.138	\$ 2.276
A.4	Banderero	HH	0,55	\$ 3.761	\$ 2.069
A.5	Banderero	HH	0,55	\$ 3.761	\$ 2.069
Total Mano de Obra				\$	13.406

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Hormigón G35 R3	m3	0,08	\$ 167.350	\$ 12.551
B.2	Puente adherente epóxico	un	0,48	\$ 20.390	\$ 9.685
B.3	Diluyente a la piroxilina	Lt	1,00	\$ 4.190	\$ 4.190
B.4	Diesel	Lts	0,32	\$ 1.100	\$ 347
B.5	Desmoldante de madera 4,5 Lts	un	0,01	\$ 20.390	\$ 102
B.6	Membrana de curado 4,5 Lts	un	0,10	\$ 17.990	\$ 1.799
B.7	Polietileno 4x10m	un	0,05	\$ 17.210	\$ 861
B.8	Saco de arena 25 kg	un	1,00	\$ 960	\$ 960
B.9	Sacos de escombros 60x90cm	un	7,00	\$ 489	\$ 3.423
B.10	Paños de limpieza	un	4,00	\$ 1.700	\$ 6.800
Total Materiales				\$	40.717

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 13.406	\$ 670
C.2	Generador de 7 Kva	día	0,061	\$ 25.240	\$ 1.542
C.3	Extensión 20 m	día	0,061	\$ 4.000	\$ 244
C.4	Taladro 3/8"	día	0,061	\$ 9.500	\$ 581
C.5	Mezclador de pintura	día	0,061	\$ 4.700	\$ 287
C.6	Balde concretero 12 Lts	día	0,061	\$ 2.500	\$ 153
C.7	Jarro plástico medidor 1 Lt	un	0,100	\$ 1.990	\$ 199
C.8	Pala (1 unidad)	día	0,061	\$ 2.700	\$ 165
C.9	Llana metálica lisa	día	0,061	\$ 3.800	\$ 232
C.10	Brocha multipropósito 2"	un	0,200	\$ 3.890	\$ 778
C.11	Brocha multipropósito 4"	un	0,200	\$ 6.392	\$ 1.278
C.12	Escobillón industrial	día	0,061	\$ 2.000	\$ 122
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	6.253

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 5.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
6	Restitución de placa deslizante y pletina de tope.	ml	\$ 160.388

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	2,05	\$ 7.147	\$ 14.651
A.2	Maestro primera	HH	2,05	\$ 5.567	\$ 11.412
A.3	Ayudante	HH	2,05	\$ 4.138	\$ 8.483
A.4	Banderero	HH	2,05	\$ 3.761	\$ 7.710
A.5	Banderero	HH	2,05	\$ 3.761	\$ 7.710
Total Mano de Obra				\$	49.967

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Electrodos E60XX 5/32"	kg	3,31	\$ 9.238	\$ 30.578
B.2	Diesel	Lts	10,87	\$ 1.100	\$ 11.952
B.3	Disco de corte acero 4,5"	un	0,70	\$ 2.590	\$ 1.803
B.4	Disco de corte acero 7"	un	0,42	\$ 3.490	\$ 1.450
B.5	Disco desbaste metal 7"	un	0,21	\$ 5.780	\$ 1.221
B.6	Broca para metal Ø20mm	un	0,20	\$ 39.990	\$ 7.998
B.7	Broca para metal Ø14mm	un	0,20	\$ 14.990	\$ 2.998
B.8	Broca para metal Ø8mm	un	0,20	\$ 11.490	\$ 2.298
B.9	Placa 135x10x1000mm	m	1,00	\$ 17.037	\$ 17.037
B.10	Pletina 12x10x1000mm	m	1,00	\$ 1.515	\$ 1.515
B.11	Disco de desbaste acero 4,5"	un	0,10	\$ 3.038	\$ 304
Total Materiales				\$	79.152

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 49.967	\$ 2.498
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,230	\$ 39.270	\$ 9.018
C.3	Extensión 20 mts	día	0,230	\$ 4.000	\$ 919
C.4	Soldadora CST 280 monofásica 200A	día	0,230	\$ 15.123	\$ 3.473
C.5	Compresor de aire eléctrico (Soplador)	día	0,230	\$ 35.000	\$ 8.037
C.6	Taladro percutor	día	0,230	\$ 12.500	\$ 2.870
C.7	Esmeril angular 4,5"	día	0,230	\$ 8.900	\$ 2.044
C.8	Esmeril angular 7"	día	0,230	\$ 10.500	\$ 2.411
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	31.269

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 6.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
7	Reposición de sello bituminoso.	ml	\$ 38.967

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	0,75	\$ 7.147	\$ 5.360
A.2	Maestro primera	HH	0,75	\$ 5.567	\$ 4.175
A.3	Ayudante	HH	0,75	\$ 4.138	\$ 3.104
A.4	Banderero	HH	0,75	\$ 3.761	\$ 2.821
A.5	Banderero	HH	0,75	\$ 3.761	\$ 2.821
Total Mano de Obra				\$	18.281

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Diesel	Lts	0,88	\$ 1.100	\$ 972
B.2	Sello bituminoso Polyflex Tipo 2	kg	0,48	\$ 4.360	\$ 2.110
B.3	balón de gas 15 kg	un	0,18	\$ 21.000	\$ 3.843
Total Materiales				\$	6.925

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 18.281	\$ 914
C.2	Generador de 10 Kva	día	0,083	\$ 39.270	\$ 3.273
C.3	Extensión 20 mts	día	0,083	\$ 4.000	\$ 333
C.4	Compresor de aire eléctrico (Soplador)	día	0,083	\$ 35.000	\$ 2.917
C.5	Esmeril angular 4,5"	día	0,083	\$ 8.900	\$ 742
C.6	Caldera doble cámara preparación mastic asfáltico	día	0,083	\$ 67.000	\$ 5.583
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	13.762

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 7.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	PRECIO
8	Limpieza y normalización del área.	ml	\$ 30.293

A	Mano de Obra	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
A.1	Maestro soldador	HH	1,00	\$ 7.147	\$ 7.147
A.2	Maestro Primera	HH	1,00	\$ 5.567	\$ 5.567
A.3	Ayudante	HH	1,00	\$ 4.138	\$ 4.138
A.4	Banderero	HH	1,00	\$ 3.761	\$ 3.761
A.5	Banderero	HH	1,00	\$ 3.761	\$ 3.761
Total Mano de Obra				\$	24.374

B	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
B.1	Sacos de escombros 60cm x 90cm	un	2,00	\$ 489	\$ 978
B.2	Paños de limpieza	un	2,00	\$ 1.700	\$ 3.400
Total Materiales				\$	4.378

C	Máquinas, Herramientas y Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
C.1	Herramientas menores	día	5%	\$ 24.374	\$ 1.219
C.2	Escobillón industrial	día	0,111	\$ 2.000	\$ 222
C.3	Pala de aseo	día	0,111	\$ 900	\$ 100
Total Maq. Herr. y Eq.				\$	1.541

Figura A.1: Costos de reparación total sistema M2, ítem 8.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo N°2: Ficha de inspección.**Marga-Marga****Información básica**

Nombre del Puente	Marga-Marga
Provincia	Marga Marga
Rol de Ruta	F-50
Localidad	La Retuca, camino Lo Orozco
Coordenadas Geográficas	33,141454S;71,343175O
Longitud Total	54 metros
Ancho Total	8,5 metros
Número de Vanos	1
Restricciones (carga, altura o ancho)	Ninguna
Ruta en paralelo	No existe ruta cercana
TMDA	8280

Superestructura

Tipo Material de Tablero	Hormigón
Tipo Material de Vigas	Hormigón
Tipo de Superficie de Rodado Puente	Hormigón
Tipo de Superficie de Rodado Acceso	Asfalto

Infraestructura

Tipo Material de Cepas	Hormigón
Tipo Material de Estribos	Hormigón

Fecha	05-10-2021
Inspector	Pablo Villegas Aravena

fotografía general:

*vista general puente Marga-Marga***Información Cantoneras**

Tipo Junta de expansión	Elastomérica Reforzada
N° de Juntas	2

Observaciones

Acumulación de escombros y sedimentos
Desprendimiento de mortero de transición
Fisuras, Pérdida parcial o total de sellos sobre unidades de fijación
Tuercas aflojadas, perdidas, ausencia de fijación.
Daños al dispositivo, cortes (parcial).
Daños en los cantos del tablero, desmoronamiento o pérdida de hormigón
Aparecen enfierraduras de tablero.

Figura A.2: Ficha de inspección, hoja 1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Fotografías de inspección

Figura 129 Daños en los cantos del tablero, desmoronamiento o pérdida de hormigón



Figura 131 Desprendimiento del dispositivo (parcial o total)



Figura 130 Desprendimiento de mortero de transición



Figura 132 Pérdida de apriete en tuercas, ausencia de fijación

Figura A.2: Ficha de inspección, hoja 2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo N°3: Observaciones en puentes con cantoneras de placa deslizante.

Tabla A.1: Detalle de observaciones en puentes con cantonera M2.

Nombre del puente	CANTONERAS DE PLACA DESLIZANTE												Nota: se marcó en una "X" la falla presente.			
	CÓDIGOS OBSERVACIONES DE RIESGOS Y FALLAS															
	M2.F1.1.	M2.F2.1.	M2.F2.2.	M2.F2.3.	M2.F3.1.	M2.F3.2.	M2.F3.3.	M2.F3.4.	M2.F3.5.	M2.F3.6.	M2.F3.7.	M2.F4.1.				
19 de Junio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X
Córdova	X		X		X											X
Don Bosco	X	X	X		X											X
El Manzano	X	X	X			X	X	X	X	X						
Limache	X	X	X		X	X	X	X	X	X						
Lo Abarca	X	X	X		X	X	X	X	X	X						X
Lo Vicuña	X		X		X		X			X						X
Los Azules	X				X											X
Pasarela La Laguna	X	X	X		X	X	X	X	X	X						
Pedegua	X				X	X	X	X	X							
Río Blanco 1	X	X	X		X	X	X	X	X	X				X		
Río Blanco 2	X	X	X		X	X		X								X
San Sebastián	X		X		X											
Seminario	X	X	X		X											X

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo N°4: Observaciones en puentes con cantoneras elastomérica Jeene.

Tabla A.2: Detalle de observaciones en puentes con cantonera E3.

Nombre del puente	CANTONERAS ELASTOMÉRICA EPDM INFLABLE (JEENE)										Nota: se marcó en una "X" la falla presente.			
	CÓDIGOS OBSERVACIONES DE RIESGOS Y FALLAS													
	E3.F1.1.	E3.F2.1.	E3.F2.2.	E3.F2.3.	E3.F3.1.	E3.F3.2.	E3.F3.3.	E3.F3.4.	E3.F4.1.	E3.F4.2.				
Boco	X	X		X	X			X						
Carretón	X	X		X	X			X	X					
Concón	X	X		X	X	X		X						
David García Oeste	X													
El Yugo 1	X	X		X	X			X						
El Yugo 2	X	X		X										
La Calera	X	X		X										
Illalolén	X	X												
La Higuera	X		X		X	X	X	X	X					
Las Gaviotas	X	X		X										
Lo Gallardo	X	X		X	X			X						
Lo Gamboa	X	X			X									
Santa Julia	X	X		X	X			X					X	
Senador Alfredo Cerda J.	X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Valle Alegre	X													

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo N°5: Observaciones en puentes con cantoneras elastomérica reforzada.

Tabla A.3: Detalle de observaciones en puentes con cantonera E4.

Nombre del puente	CANTONERAS ELASTOMÉRICA REFORZADA										Nota: se marcó en una "X" la falla presente.			
	CÓDIGOS OBSERVACIONES DE RIESGOS Y FALLAS													
	E4.F1.1.	E4.F2.1.	E4.F2.2.	E4.F3.1.	E4.F3.2.	E4.F3.3.	E4.F4.1.	E4.F4.2.	E4.F4.3.	E4.F5.1.	E4.F5.2.			
David García Este	X	X												
Lo Castro	X	X	X	X	X		X							
Lo Rojas	X	X												
Marga Marga	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Pelumpen	X	X		X										
Pocuro	X	X		X			X							
Lo Orozco	X	X	X	X			X		X	X				
Tres Esquinas	X	X	X	X										

Fuente: Elaboración propia, 2021.