



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal

GUÍA PARA INSPECCIÓN DE PUENTES



SATISFACTORIA ADECUADA DEFICIENTE SERIA ALARMANTE DE SERVICIO INACEPTABLE

2019





INDICE

PRESENTACIÓN 4

CAPÍTULO I

GENERALIDADES 5

1.1 INTRODUCCIÓN 5
1.2 ORGANIZACIÓN DE LA GUÍA 5
1.2.1 Codificación 6
1.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS 6
1.4 SIGLAS Y ABREVIATURAS 8
1.5 IMPORTANCIA DE LA INSPECCIÓN DE LOS PUENTES 8
1.6 ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN DE PUENTES 9

CAPITULO II

CAUSAS DE FALLAS OCURRIDAS EN LOS PUENTES 11

2.1 ANTECEDENTES 11
2.2 CAUSAS INTERNAS 13
2.2.1 Error en el diseño 14
2.2.2 Falta de mantenimiento 16
2.2.3 Deficiencia en la construcción 18
2.2.4 Defecto del material 19
2.3 CAUSAS EXTERNAS 20
2.3.1 Terremoto 20
2.3.2 Socavación 21
2.3.3 Inundación 22
2.3.4 Colisión 22
2.3.5 Degradación ambiental 23
2.3.6 Sobrecarga 24
2.3.7 Fuego 25
2.3.8 Vientos, tormentas de viento y huracanes 26

CAPITULO III

IMPORTANCIA, DIRECTRICES Y RESPONSABILIDADES EN LA INSPECCIÓN DE PUENTES 28

3.1 GENERALIDADES 28
3.2 FRECUENCIA DE INSPECCIONES 28
3.3 DIRECTRICES PARA LA INSPECCIÓN DE DAÑOS 29
3.4 OFICINA RESPONSABLE DE LA INSPECCIÓN 29
3.5 INSPECCIÓN INICIAL Y ACCIÓN 29
3.6 SECUENCIA DE INSPECCIÓN Y REGISTRO 30
3.7 EQUIPOS Y HABILIDADES DE INSPECCIÓN 30
3.8 REPORTE DE INSPECCIÓN 31
3.9 MONITOREO DE LAS MEJORAS 32
3.10 DIRECTRICES PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS 32
3.11 EVALUACIÓN DEL DAÑO POR QUIEN Y DÓNDE 33
3.12 INCONVENIENCIA DEL USUARIO Y VELOCIDAD DE REPARACIONES 33





3.13 REQUISITOS Y OBLIGACIONES DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN 34
 3.14 SEGURIDAD DEL PERSONAL DURANTE LA INSPECCIÓN 34

CAPITULO IV

TIPOS DE INSPECCIÓN 35

4.1 GENERALIDADES 35
 4.2 ESQUEMA DE DESARROLLO 36
 4.3 COMPONENTES PARA LA INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN 36
 4.4 INSPECCIÓN INICIAL (DE INVENTARIO) 37
 4.5 INSPECCIÓN RUTINARIA (BÁSICA) 38
 4.5.1 Definición 38
 4.5.2 Medios necesarios 39
 4.5.3 Alcance de la inspección 40
 4.5.4 Procedimientos para la inspección 41
 4.5.5 Registro de datos 41
 4.6 INSPECCIÓN PRINCIPAL 44
 4.6.1 Definición 44
 4.6.2 Objetivo 45
 4.6.3 Características 45
 4.6.4 Alcance 47
 4.6.5 Medios necesarios para la inspección principal 48
 4.6.6 Procedimiento de realización de la inspección 49
 4.6.6.1 Inspecciones de cimientos 52
 4.6.6.2 Inspecciones de subestructura 52
 4.6.6.3 Inspecciones de superestructura 53
 4.6.6.4 Inspecciones de los equipamientos 54
 4.6.6.5 Registro de datos 54
 4.7 INSPECCIÓN ESPECIAL 55
 4.7.1 Definición 55
 4.7.2 Objetivo 57
 4.7.3 Alcance 57
 4.7.4 Trabajos previos 57
 4.7.5 Inspección de reconocimiento 58
 4.7.6 Inspecciones especiales 58
 4.7.7 Medios auxiliares 59
 4.7.8 Toma de muestras - Apertura de calicatas - Ensayos de laboratorio 59
 4.7.8.1 Levantamiento topográfico 59
 4.7.8.2 Inspección subacuática 60
 4.7.8.3 Estudio geotécnico: Catas, sondeos, ensayos de laboratorio 60
 4.7.8.4 Otras labores a desarrollar 60
 4.7.9 Pruebas de inspección especial de componentes de puente de concreto 61

Q



CAPITULO V

INFORMES DE INSPECCIÓN 62

5.1. INTRODUCCIÓN 62
 5.2. DEL INFORME DE INSPECCIÓN 62
 5.3. MÉTODO PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN 63
 5.4. DESCRIPCIÓN DE LA CALIFICACIÓN Y VARIABLES 64





5.5. PASOS PARA DETERMINAR LA CALIFICACIÓN 66

5.5.1 Información preliminar e inspección visual del puente.....66

5.5.2 Vida de servicio remanente66

5.5.3 Identificación de componentes del puente y asignación de la relevancia estructural RE66

5.5.4 Determinación de grados de daño GD.....67

5.5.5 Grado de consecuencia de falla FCF.....69

5.5.6 Calificación de los elementos del puente CE.....70

5.6. INSPECCIÓN EFECTUADA POR EL SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO 73

5.7. ESTIMACIÓN DE RECURSOS 73

5.8. IDENTIFICACIÓN DE PUENTES EN SITUACIÓN CRÍTICA 74

5.9. ACCIONES PARA DETECTAR DAÑOS MÁS COMUNES. 74

ANEXOS

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PUENTES81

ANEXO II

GRÁFICOS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PUENTES82

ANEXO III

TOMA DE DATOS DE LA INSPECCIÓN.....94

ANEXO III-A

DATOS DE LA INSPECCIÓN.....96

ANEXO III-B

TOMA DE DATOS DE LA INSPECCIÓN - CONDICION GLOBAL DEL PUENTE.....99

ANEXO III-C

TOMA DE DATOS DE LA INSPECCIÓN- PANEL FOTOGRAFICO 100

ANEXO III-D

TOMA DE DATOS DE LA INSPECCION - OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES... 101

ANEXO IV

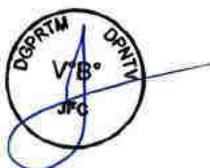
DETALLES GRÁFICOS DE ELEMENTOS A INSPECCIONAR 102

ANEXO V

DEFECTOS Y PROBLEMAS DE LOS PUENTES..... 109

ANEXO VI

PRUEBAS EN LOS COMPONENTES DE UN PUENTE 124





PRESENTACIÓN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

La **"Guía para Inspección de Puentes"**, complementa al Manual de Puentes el cual se encuentra indicado dentro de los **Manuales de Carreteras** establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional, y está dirigido para los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

En ese contexto, la **Guía para Inspección de Puentes**, está orientada a proporcionar pautas para realizar la inspección apropiada de los componentes de los puentes del Sistema Nacional de Carreteras del Perú a través de procedimientos técnicos estandarizados, a fin de constatar el estado de los componentes de los mismos que permita la toma de decisiones orientados a mantener la continuidad de la transitabilidad de la infraestructura vial en forma eficiente y segura.

La **Guía para Inspección de Puentes**, tiene relación directa y se complementa con los demás documentos normativos que rigen la infraestructura vial, y principalmente con el Manual de Puentes, Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Manual de Diseño Geométrico, Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, Manual de Mantenimiento o Conservación Vial, Manual de Suelos y Pavimentos, entre otros. En su elaboración, se tuvo en cuenta las experiencias de diferentes países y autores en la gestión de puentes a través de las inspecciones.

Teniendo en consideración que, como toda ciencia y técnica, la ingeniería vial está en permanente cambio e innovación, es necesario, que el presente documento sea revisado y actualizado periódicamente, por el órgano normativo de la infraestructura vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Lima, mayo de 2019





CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los puentes son diseñados para un tiempo de vida limitada, los cuales a menudo sufren problemas de deterioros cuyas causas son: la sobre explotación (sobrecargas superiores a los del diseño), eventos sísmicos extraordinarios, la exposición a un entorno climático severo, a la acción de los cursos del agua, la presencia de vegetación y la falta de mantenimiento. Estos efectos de riesgo, cuando no se evidencian oportunamente, pueden dar como resultado daños importantes y suficientes, para que la estructura del puente comprometa su capacidad de funcionar.

Estos problemas se visualizan en la calidad de servicio y los niveles de servicio, la preocupación es cuando algunos daños estructurales aparecen de forma progresiva y advierte su presencia como las fisuras, las grietas denotan su deterioro, en otros casos se manifiesta de forma oculta, pudiendo general el colapso de la infraestructura de manera brusca e inesperada.

La **Guía para Inspección de Puentes**, tiene el objetivo de contribuir a la mejora de la conservación de los puentes, así como, describe los procedimientos y métodos a realizar durante las inspecciones de los puentes a fin de evaluar su deterioro. Considerando cada elemento que forma parte de la superestructura, subestructura, dispositivos de seguridad vial/accesorios/acceso y en función a eventos naturales como sismos y avenidas de los niveles de agua.

Esta guía al ser una herramienta de gestión, establece pautas para dar a conocer el estado situacional de la infraestructura de puentes, permitiendo con ello evaluar su condición a futuro a fin de programar su nivel de intervención. Para su funcionamiento y sistematización requiere de información detallada y actualizada de las estructuras, por ello, las entidades responsables de la gestión de los puentes deben de coordinar, implementar y actualizar la base de DATA correspondiente.

1.2 ORGANIZACIÓN DE LA GUÍA

La **Guía para Inspección de Puentes**, está organizada en capítulos, secciones y cada uno de ellos están subdivididos en numerales respectivamente. Los capítulos son los siguientes:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

Describe el propósito y los alcances de la Guía, en la identificación de los procedimientos, metodologías y consideraciones relativas a los puentes a tomarse en consideración y cumplirse en las etapas de diseño detallado, construcción, mantenimiento o conservación, operación y otros). Así mismo, contiene la organización de la Guía y Glosario de Términos.

CAPÍTULO II: CAUSAS DE FALLAS OCURRIDAS EN LOS PUENTES

En este capítulo se plantea una visión general de las principales fallas de los puentes considerando las condiciones extremas de riesgo naturales o artificiales y los efectos de peligro, que cuando se combinan con cargas frecuentes no extremas, pueden causar suficiente daño a la estructura del puente, comprometiendo su capacidad de funcionar. La finalidad del presente capítulo es advertir a los especialistas a tener mayor cuidado en el diseño, ejecución y mantenimiento, considerando el tiempo de vida útil previsto de un puente.



CAPITULO III: IMPORTANCIA, DIRECTRICES Y RESPONSABILIDADES EN LA INSPECCION DE PUENTES

En este capítulo se describe la importancia de la frecuencia, las directrices, la oficina responsable, las acciones a tomar, la secuencia y registro, los equipos y habilidades, los reportes, el monitoreo de las mejoras, la evaluación del daño por quien y dónde, la inconveniencia del usuario y velocidad de reparaciones, los requisitos y obligaciones del personal y la seguridad del personal durante las inspecciones de los puentes.

CAPITULO IV: TIPOS DE INSPECCIÓN

En el presente capítulo se desarrollan las características técnicas de las inspecciones de un puente, los tipos de Inspección inicial (de inventario), Inspección Rutinaria (periódica, básica), Inspección principal e Inspección especial, las mismas que se diferencian en su intensidad, frecuencia, medios humanos y materiales empleados. Con los objetivos de asegurar el tráfico sin riesgo sobre la estructura, y detectar las deficiencias existentes.

CAPITULO V: INFORMES DE INSPECCIÓN

En el presente capítulo se abordará el tema relacionado con los informes a presentar como resultado de la inspección, la cual deberá incluir una calificación numérica del estado en que se encuentra el puente. Asimismo, detalla lo relacionado al archivo de datos de cada puente, el cual debe estar conformado por dos módulos: Información sobre el puente que permanece invariable (inventario), e información que es constantemente modificada con el transcurso del tiempo (datos de inspección).

Así como los datos fundamentales que comprenden un informe de inspección, los cuales son: identificación, características geométricas, características estructurales, calzada y elementos auxiliares, estado de conservación, observaciones y recomendaciones.

Finalmente, mediante ANEXOS I, II, III, IV, V y VI, de la Guía para Inspección de Puentes se presentan consideraciones técnicas que complementan a la guía vigente, tales como: características principales de los diferentes tipos de puentes, gráficos de tipos de estructuras de puentes, toma de datos de la inspección, detalles gráficos de elementos a inspeccionar, defectos y problemas de los puentes.

1.2.1 Codificación

A continuación, se muestra un ejemplo de la codificación de la Guía para Inspección de Puentes.

Ejemplo: 2.2.2 corresponde a:

CAPITULO II: CAUSAS DE FALLAS OCURRIDAS EN LOS PUENTES

2.1. Causas Internas

2.2.1 Errores de diseño

2.2.2 Falta de mantenimiento

1.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Los términos utilizados describen el significado de cada palabra o expresión utilizada en la presente Guía, precisando que se debe emplear de forma complementaria las definiciones contenidas en el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial.





Así mismo, para efectos de la presente Guía se utilizarán los siguientes términos:

APARATOS DE APOYO: Son los elementos a través de los cuales el tablero transmite a las pilas y estribos las cargas. Existen diversos tipos de aparatos de apoyo, los más sencillos son de neopreno sin armar o zunchar, poco utilizados en puentes, y luego se tienen los de neopreno zunchado, frecuentemente utilizados en puentes de longitudes pequeñas a moderadas y en los puentes de vigas prefabricadas, y finalmente los aparatos denominados tipo POT, utilizados en puentes de luces importantes.

COLAPSO PARCIAL: Deformación severa que ha sufrido todos o algunos de los miembros principales de un tramo o tramos múltiples, de modo que, las vidas de quienes transitan encima o debajo de la estructura estaría en peligro.

COLAPSO TOTAL: Todos los miembros principales de varios tramos han colapsado o han sido sometidos a deformación severa de tal manera que no hay carriles de circulación transitables.

ELEMENTOS FUNCIONALES (SISTEMAS DE CONTENCIÓN Y ACABADOS): son elementos no estructurales que se disponen en el puente para su correcto funcionamiento o para garantizar la durabilidad de otros elementos. Se dividen en sistemas de contención y acabados. En los puentes modernos se disponen elementos llamados aparatos de apoyo, a fin de transmitir las cargas desde el tablero a los estribos y pilas, y también juntas de dilatación para absorber los movimientos horizontales relativos que se producen entre el tablero y los estribos y en puentes de varios claros isostáticos entre tableros.

FALLA DE PUENTE POR CAUSAS EXTERNAS: La causa que determina dichas fallas es por la sobre demanda del puente y se compone de socavación, inundación, terremoto, incendio, colisión, viento, sobrecarga, asentamiento, y la degradación ambiental de los miembros.

FALLA DE PUENTE POR CAUSAS INTERNAS: La causa que determina dichas fallas es por la pérdida de capacidad del puente y consiste en: diseño defectuoso, error en la construcción, materiales de baja calidad y falta de mantenimiento.

HORMIGUEROS (HO): Alteración sufrida por el concreto, definida por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, evidenciando zonas vacías en las caras de los elementos. Los hormigueros son causados generalmente por falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, prácticas inapropiadas en la colocación del concreto en zonas con alta densidad de refuerzo, dosificaciones inadecuadas de mezclas de concreto, etc.

INFRAESTRUCTURA DE UN PUENTE: son los elementos encargados de transmitir las reacciones del Puente al terreno, es decir es la cimentación, que puede ser de tipo superficial mediante zapatas, o de tipo profundo mediante una losa de cimentación y pilotes.

INSPECCIÓN DE UN PUENTE: Conjunto de actuaciones técnicas realizadas conforme a un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de conservación de un puente. La inspección de un puente tiene dos objetivos, asegurar el tráfico sin riesgo sobre la estructura, y detectar las deficiencias existentes, recomendando las acciones para corregirlas.

INVENTARIO DE UN PUENTE: Es una actividad previa y necesaria, para realizar una inspección en donde se podrá determinar de manera visual el estado de conservación del puente, la seguridad del mismo y estimar las acciones de tipos de inspecciones a seguir.





MICROPILOTES: Son pilotes perforados de diámetro inferior a 30 cm, sin apuntalamiento por lo que de encontrar un nivel freático hay que tomar precauciones.

PANTALLAS: Son elementos verticales que llegan a la capa resistente del terreno, y se empotran en ella, pero su sección transversal es rectangular, y en función de las características del terreno su resistencia a acciones horizontales es mucho mejor.

SUBESTRUCTURA DE UN PUENTE: Está compuesto por el conjunto de elementos encargados de transmitir las acciones de la superestructura a la cimentación, la conforman los estribos, aparatos de apoyo, terraplenes, pilas, etc. La superestructura es la que soporta la carga de tráfico y la transmite a la subestructura.

SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE: Es el elemento del puente que conforma el mecanismo resistente del mismo. Por ejemplo, el tablero de los puentes de tramo recto (de concreto, metálicos o mixtos), o el tablero más el arco en un puente arco, los tirantes y el pilote de un puente atirantado o el sistema de cables y los pilotes de un puente colgante. También integran los llamados elementos funcionales: las juntas, pavimento, pretilas e impermeabilización.

TABLERO: Es el elemento resistente horizontal que soporta por sí mismo la superficie de rodadura, sobre él se apoyan los elementos necesarios para el cumplimiento de su misión funcional, por ejemplo, pavimento, barreras, balasto, durmientes, etc.

1.4 SIGLAS Y ABREVIATURAS

AASHTO	: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials)
ASTM	: Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials)
DGCF	: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles
DNV	: Dirección de Normatividad Vial
DRTC	: Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
SINAC	: Sistema Nacional de Carreteras

1.5 IMPORTANCIA DE LA INSPECCIÓN DE LOS PUENTES

La inspección de los puentes es de suma importancia para mantener el efectivo desarrollo de un país, así como garantizar la seguridad de sus usuarios.

Una infraestructura vial adecuada es fundamental para el desarrollo socio económico del país. Por esta razón, entre otras, es muy importante que las vías permanezcan en buenas condiciones de tránsito, a fin de que el transporte se efectúe en forma eficiente y seguro.

En muchos casos, los puentes son el componente más vulnerable de una red vial y, frecuentemente son los elementos que influyen en la continuidad del servicio de transporte a fin de brindar el servicio en forma permanente y segura, favoreciendo en general un apropiado funcionamiento.

La inspección de un puente tiene dos objetivos, asegurar el tráfico sin riesgo sobre la infraestructura, y detectar las deficiencias existentes, recomendando las acciones para corregirlas. Una es inspección de seguridad y la otra para mantenimiento del puente.





La única forma de conocer la condición exacta y evaluar cada uno de los elementos de un puente, es mediante los inventarios y las inspecciones. La inspección es una actividad compleja, que debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de ella dependen las recomendaciones para corregir los defectos, señalar restricciones de carga y velocidad, para minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que pueden convertirse en daños severos si no son reparados a tiempo.

Para obtener una información satisfactoria, las inspecciones deben llevarse a cabo con una cierta periodicidad.

La programación de los trabajos de mantenimiento rutinario, se hacen de forma anual, al efectuarse en el inventario las necesidades de todos los conceptos del camino.

Para una evaluación estructural se recomienda realizar las inspecciones cada 2 o 4 años, sin embargo, los puentes de condición dudosa o con deficiencias conocidas, se vigilan con mayor frecuencia. Por ser este tipo de inspecciones de carácter minucioso, ya que, requieren herramientas y equipo apropiados, por lo general se recurre a empresas especializadas.

El rol del Ingeniero Inspector, es el de proveer información amplia y detallada sobre el estado del puente como resultado de la inspección, documentando sus condiciones y deficiencias, alertando sobre los riesgos que presentan sus hallazgos en la seguridad del usuario e integridad de las estructuras, debiendo estar constantemente alerta para que los pequeños problemas no se conviertan en costosas reparaciones.

Los puentes son una parte importante del patrimonio en la infraestructura del país, ya que son puntos medulares en una red vial.

Cualquiera que sea el sistema de gestión de un puente, todos ellos requieren de inspecciones que permitan evaluar, a distintos niveles de alcance, los posibles daños existentes y su evolución. En este documento se entiende por "inspección" al conjunto de actuaciones técnicas realizadas conforme a un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de conservación de un puente. La consecuencia de estas inspecciones es la determinación de las operaciones de mantenimiento o conservación cuando sean convenientes, o bien se asigna una marca de condición o estado de la estructura, o bien se adoptan medidas de rehabilitación o unas otras acciones extraordinarias.

Es recomendable que las entidades responsables de la administración de los puentes puedan administrar y gestionar la DATA a través de un sistema de información automatizada, que permita dotar de información suficiente y actualizada.

1.6 ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN DE PUENTES

La información recopilada durante las inspecciones de puentes es fundamental para programar el mantenimiento oportuno, de su calidad dependerá el buen funcionamiento del sistema, dado que, las estructuras continúan envejeciendo y deteriorándose, una evaluación precisa y completa, es esencial para mantener en servicio una red vial confiable.

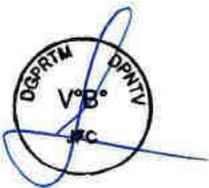
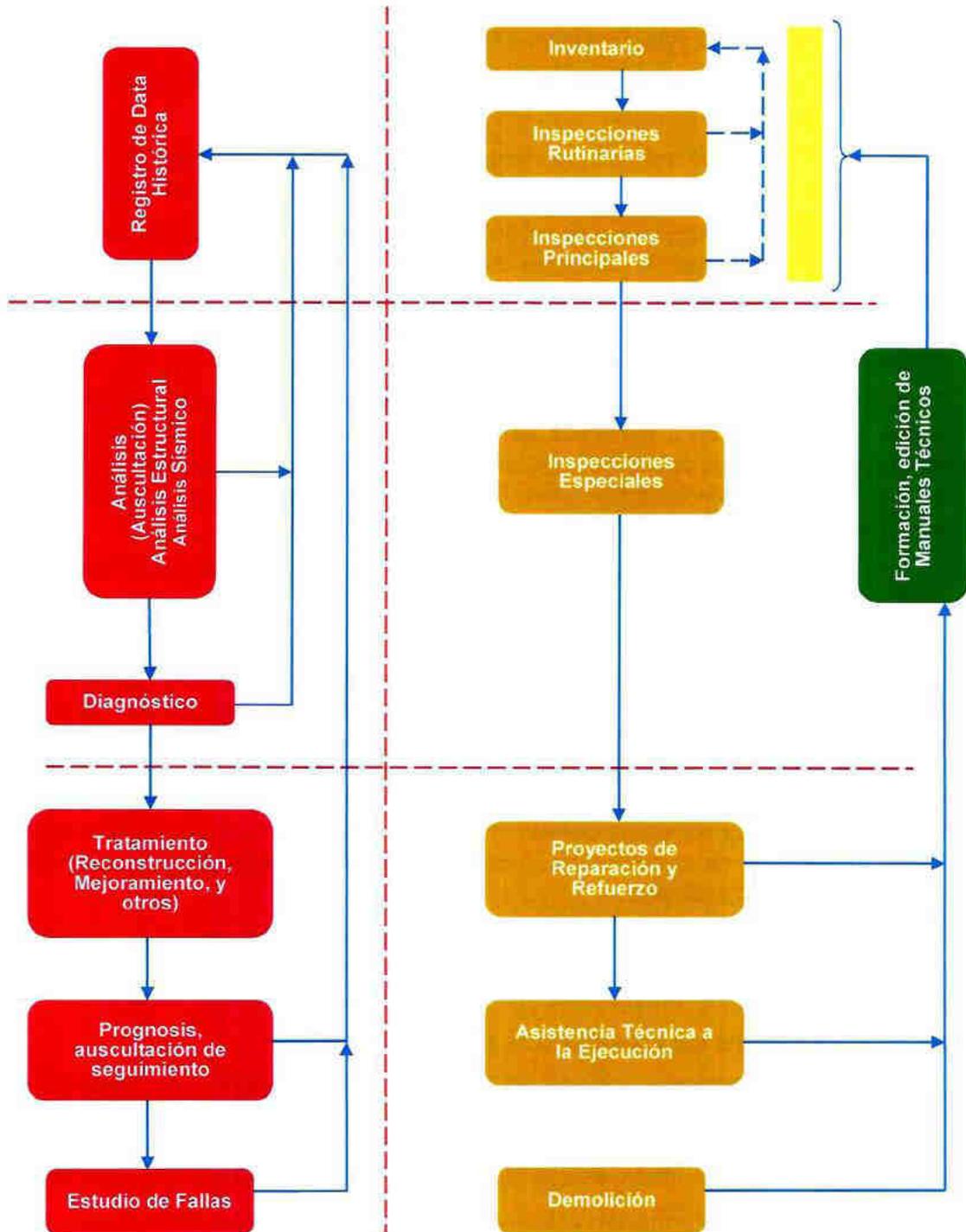
Con el fin de que la información anterior sea la correcta, se debe contar con un grupo de inspectores calificados que comprendan todos los conceptos, responsabilidades y deberes contenidos en esta guía.

Las actividades de las inspecciones de los puentes y el diagrama de flujo de las actividades se muestran en la Figura 1.





Figura 1. Fases del sistema de gestión de estructuras en régimen de explotación.





CAPITULO II

CAUSAS DE FALLAS OCURRIDAS EN LOS PUENTES

2.1 ANTECEDENTES

A partir del estudio de 143 fallas de puentes que ocurrieron en todo el mundo desde 1847 hasta 1975, se encuentra que, hay nueve categorías de fallas. El más frecuente de estos es debido a las inundaciones, ya que el desborde de un solo río puede destruir toda una serie de puentes a lo largo de su curso. Otras categorías son la fractura frágil, los terremotos y los vientos, la destrucción accidental y las fallas de la caja de acero, y las fallas causadas por la corrosión y la fatiga. Para cada categoría, se citan y discuten uno o más historiales de casos. Se concluye que los puentes generalmente no fallan debido a cálculos inexactos de tensión-deformación.

En 2003, el Dr. Wardhana publicó un documento relacionado con fallas de puentes en los Estados Unidos entre 1989 y 2000. Quinientos tres puentes fueron estudiados en esta investigación. Siendo la inundación y socavación las causas más comunes de fallas de puentes con 53%, aunque debe tenerse en cuenta que una gran inundación de desastre ocurrido en 1993. En este estudio, el 12% de los puentes fallaron debido a la colisión con cualquier tipo de camión, trenes y naves. La sobrecarga al 9% y degradación ambiental al 8.5% mencionado como la tercera y cuarta causa frecuente de fallas de puentes durante estos años. Las causas Internas tuvieron una pequeña parte en las fallas del puente en este estudio [Wardhana, K. and Hadipriono, F.C. (2003). Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. Journal of Performance of Constructed Facilities. 17(3): p. 144-150].

Para proporcionar una idea general sobre las causas de las fallas de puentes, se realizó una comparación entre el número de puentes fallidos y las causas de fallas en los EE. UU. Y los resultados se presentan en la Figura 2, Figura 3, Figura 4 y la Tabla 1 por intervalos de 10 años. Las cinco principales causas de fallas de puentes en este informe son exactamente las mismas que en el estudio de Wardhana. En este informe, la inundación y la socavación en el 47% son las causas más comunes de fallas en puentes, la colisión en el 15% tiene el segundo lugar y la sobrecarga en el 13% tiene la tercera causa principal de fallas en puentes.

De manera similar al estudio Wardhana, la cuarta causa de falla es la degradación ambiental al 7%. Teniendo en cuenta que, aunque el período de este informe es entre 1980-2012 y el estudio de Wardhana fue entre 1989-2000, las tendencias de ambos estudios son casi las mismas.

De las 1,062 fallas totales del puente durante el período 1980-2012, los histogramas que se muestran en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 incluyen 1,055 fallas; las causas de siete fallas no son claramente definidos en las fuentes de datos y se enumeran como "otras causas" en la Tabla 1. De las 1,055 fallas de puentes, 257 ocurrieron durante 2000-2012, 419 durante 1990-1999 y 379 durante 1980- 1989.





Figura 2: Número de puentes fallados vs. Causa de fallas entre 2000 – 2012

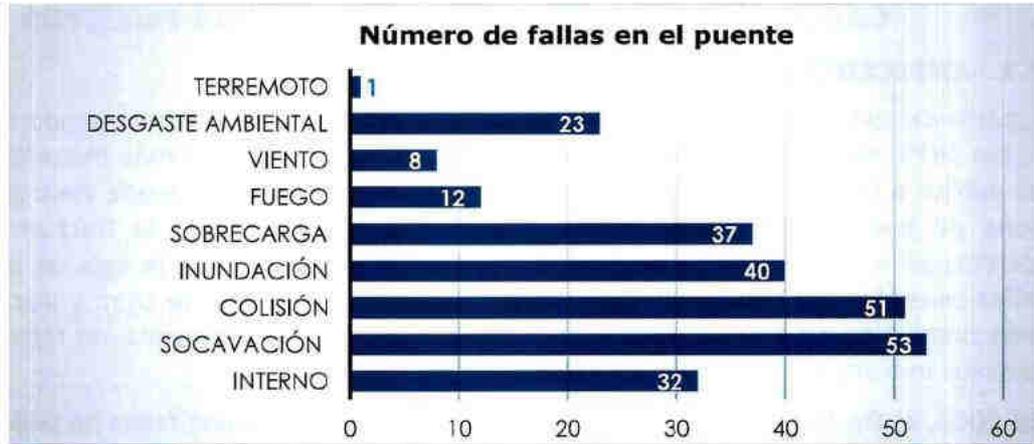


Figura 3: Número de puentes fallados vs. causa de fallas entre 1990 – 1999

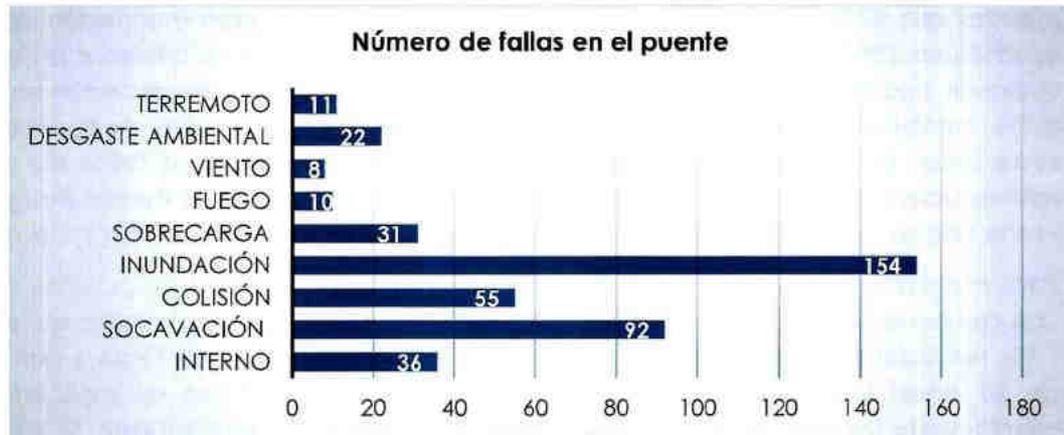


Figura 4: Número de puentes fallados vs. causa de fallas entre 1980 – 1989

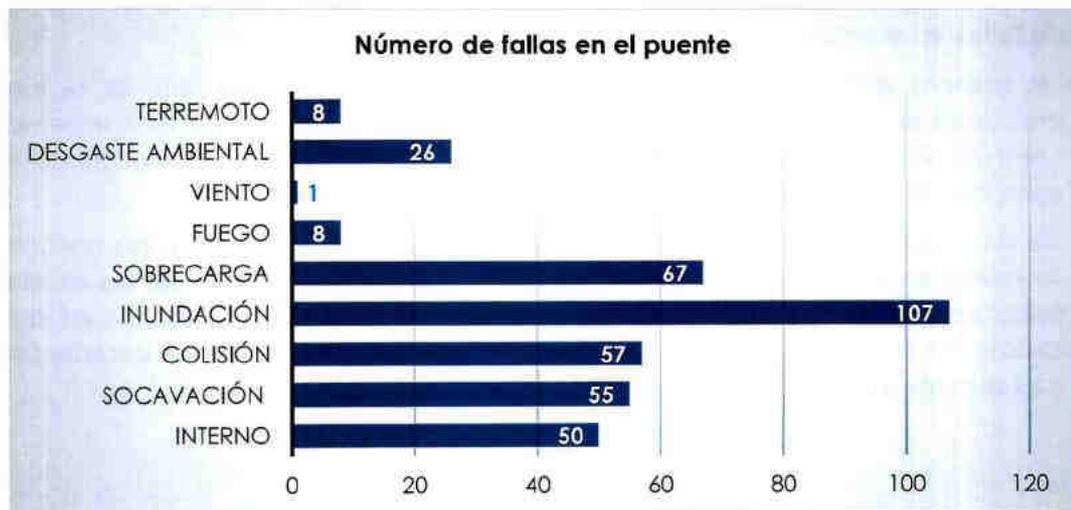




Tabla 1: Número de puentes fallados versus causas de falla, por intervalos de 10 años (1980-2012)

Causa de fallas	2000-2012	1990-2000	1980-1990	Total	Porcentaje
Causa interna	32	36	50	118	11.1%
Socavación	53	92	55	200	18.8%
Colisión	51	55	57	163	15.3%
Inundación	40	154	107	301	28.3%
Sobrecarga	37	31	67	135	12.7%
Fuego	12	10	8	30	2.8%
Viento	8	8	1	17	1.6%
Desgaste ambiental	23	22	26	71	6.7%
Terremoto	1	11	8	20	1.9%
Otros	2	3	2	7	0.7%
Total	259	422	381	1062	100.0%

2.2 CAUSAS INTERNAS

Relacionar el colapso de un puente con causas internas requiere investigaciones y experimentos especializados conducidos. Por lo tanto, declarar números exactos de fallas a causas internas es difícil y a veces poco realista. Sin embargo, en el estudio Wardhana intentó tabular las causas internas versus material utilizado, tipo de instalación y tipo estructural, como se muestran en la Tabla 2 y la Tabla 3, asimismo en la Tabla 4 relaciona el tipo de falla y el tiempo de falla con cada una de las causas internas. Se encontrándose que:

- La mayoría de los puentes de acero fallaron debido a error de diseño, defecto de material y deficiencia en construcción.
- Las principales causas internas de los puentes de concreto fueron la deficiencia en construcción y error de diseño.
- Entre los tipos de instalaciones, la deficiencia en la construcción causó la mayoría de las fallas en los puentes de carreteras.
- El error de diseño fue la segunda causa más importante para carreteras y autopistas.
- La mayoría de los puentes fallaron en las vigas, debido a la deficiencia en la construcción, seguidos de un error de diseño y un defecto del material.
- La deficiencia en la construcción causó la mayoría de los colapsos parciales y totales seguidos por un error de diseño.
- La mayoría de las fallas durante la construcción (30 de 34) fueron causadas por deficiencias en la construcción. Para las fallas en el servicio, el defecto del material fue la principal causa interna seguida de un error de diseño.

Tabla 2: Número de fallas de puente debidas a causas internas: material utilizado y tipo de instalación.

Causas internas de las fallas del puente	Material utilizado			Tipo de facilidad			
	acero	concreto	otros	calzada	autopista	peatonal	ferrocarril
Error de diseño	13	5	0	13	6	2	1
Falta de mantenimiento	1	1	1	2	1	0	0
Deficiencias en la construcción	10	13	4	24	6	1	0
Material deficiente	13	2	1	10	4	0	1
Total	37	21	6	49	17	3	2



Tabla 3: Número de fallas de puente debido a causas internas - Tipo estructural

Causas internas de las fallas del puente	Tipo Estructural						
	arqueado	arco con cercha	suspensión	atirantado	a través de entramado	viga	alcantarilla
Error de diseño	3	1	1	0	2	9	0
Falta de mantenimiento	0	0	0	0	1	2	0
Deficiencias en la construcción	3	0	1	1	1	17	0
Material deficiente	4	0	2	0	3	8	0
Total	10	1	4	1	7	36	0

Tabla 4: Número de fallas de puente debido a causas internas - Tipo y tiempo de falla

Causas internas de las fallas del puente	Tipo de Falla			Tiempo de falla	
	Total	Parcial	otros	Servicio	Construcción
Error de diseño	8	11	2	13	4
Falta de mantenimiento	2	1	0	3	0
Deficiencias en la construcción	10	20	1	8	30
Material deficiente	3	6	4	17	0
Total	23	38	7	41	34

2.2.1 Error en el diseño

El objetivo principal de los procedimientos de diseño estructural actuales es garantizar que los puentes no experimenten ningún fallo (resistencia, evento extremo, servicio y estados límite de fatiga) durante su vida útil.

Los errores de construcción o la falta de mantenimiento pueden derribar un puente, pero algunos puentes están destinados a colapsar durante la construcción debido a un diseño defectuoso. [Grabianowski, E. 10 Reasons Why Bridges Collapse. 2011; Available from: <http://www.howstuffworks.com/engineering/structural/10-reasons-why-bridges-collapse5.htm>].

Un puente adecuadamente diseñado puede soportar cargas inesperadas de eventos extremos como terremotos. La rigidez, la deformabilidad y los sistemas de disipación de energía son algunos factores importantes que deben tenerse en cuenta para tener un puente útil y seguro. [Ye, L. and Zhe, Q. (2009). Failure Mechanism and Its Control of Building Structures Under Earthquakes Based on Structural System Concept. Journal of Earthquake and Tsunami. 3(04): p. 249-259].

Sin embargo, la mayor parte del tiempo, relacionar la causa del colapso de un puente con un diseño defectuoso necesita investigaciones especializadas y detalladas. En este estudio Wardhana, entre todos los 1,062 colapsos de puentes después de 1980, se detectaron 21 colapsos de puentes debido a un defecto en el diseño. Además, 13 de estos 21 puentes fallaron durante su vida útil y 4 puentes colapsaron durante la construcción. El punto interesante acerca de los puentes que colapsaron durante la vida útil es que todos fueron diseñados antes de 1980.

Los colapsos del puente durante la vida útil se pueden categorizar en función de los elementos estructurales (conexión, viga, columna, armadura, cimentación y superficie de rodadura) que fallaron. Tabla 5 y Figura 5 muestran cuál de estos elementos tuvo una parte importante en el colapso de los puentes. Sobre la base del número de fallas debidas a errores de diseño, como se ve en la Tabla 5, se puede sugerir que, durante la siguiente revisión de códigos, se necesita más orientación en el diseño y la actualización de vigas, conexiones y columnas para evitar fracasos futuros. Se debe tener en cuenta que esta



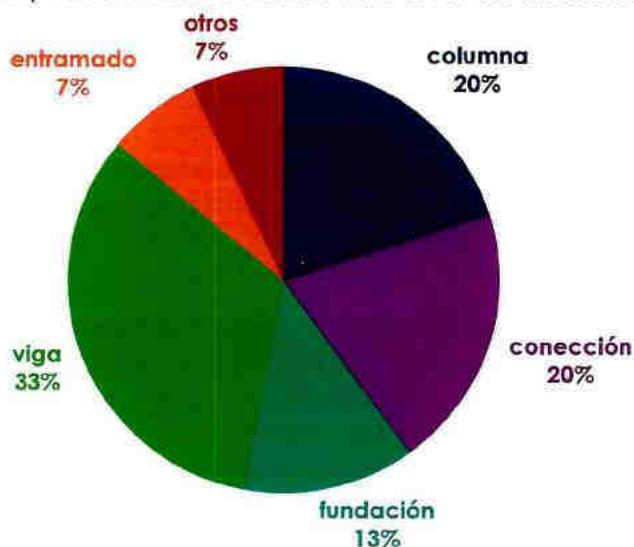
distribución no incluye todas las 21 fallas de puente causadas por un diseño defectuoso, porque faltaban algunos datos.

Tabla 5: Número de componentes de puente fallados debido a error de diseño

Componentes de diseño	Número de fallas debido a un error de diseño
Columna	3
Viga	5
Entramado	1
Superficie de rodadura	0
Conexión	3
Fundación	2
Otros	1
Desconocido	6
Total	21

Figura 5: Componentes del puente fallaron debido a un error de diseño (15 fallas) *

* Solo 15 de los 21 puentes fallidos debido a un error de diseño fue reportado.



La Tabla 6 muestra los modos de falla de puentes fallados debido a un error de diseño. La Figura 6 muestra que los porcentajes de colapsos parciales y los colapsos totales fueron del 52% y del 38%, respectivamente. Como se muestra en la Figura 6, el colapso total (54%) es más común en fallas de puentes.

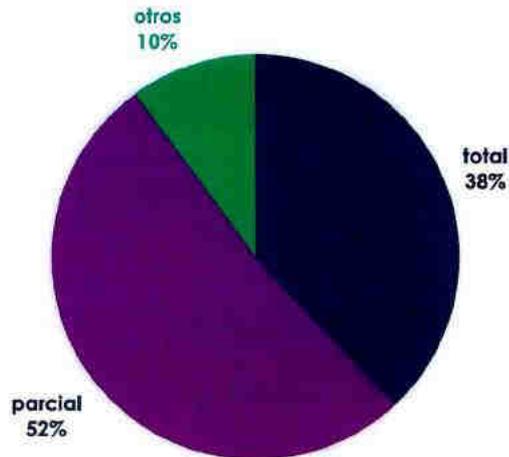
Tabla 6: Modos de falla de los puentes debido a un error de diseño

Tipo de falla	Número de fallas debido a un error de diseño
Parcial	11
Total	8
Otros	2
Total	21





Figura 6: Tipos de falla debido a error de diseño (15 fallas)



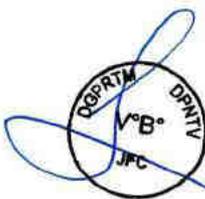
En 2003, el Sgt. puente de Aubrey, que se construyó en 1960 en Latchford, Ontario, Canadá, sobre el río Montreal, colapsó parcialmente debido a la falla de tres barras de suspensión verticales que soportaban la cubierta. Esto se puede atribuir a una fractura inducida por la fatiga. El diseño de las conexiones y especialmente las clavijas en los colgadores era defectuoso y causaba tensiones de fatiga por flexión en las barras [Bagnariol, D., Eng, P., et al. (2003). Sgt. Aubrey Cosens VC Memorial Bridge over the Montreal River at Latchford: Ministratation of Transportation.]

Durante la construcción del puente Injaka en Mpumalanga, Sudáfrica, sobre el río Ngwaritsane, en 1998, se perforó uno de los cojinetes. El diseño de la superficie de rodaduras temporales fue insuficiente y se colocó incorrectamente. Esta deficiencia de diseño de los puentes se encontró después de una investigación adicional; sin embargo, después de la falla de los rodamientos, la falla del puente fue inevitable [Deacon, T. (2002). Injaka Bridge Collapse: Lesson Learned. ProjectPro Management Services].

2.2.2 Falta de mantenimiento

La inspección inadecuada de los puentes es una de las causas más comunes de fallas en los puentes, que en ocasiones puede empeorar la situación y llegar a ocasionar el colapso. Un diseñador de puentes siempre asume el mantenimiento apropiado al estimar la vida útil del puente diseñado. Por lo tanto, durante la construcción, los elementos vitales deben identificarse y hacerse fácilmente accesibles para futuras inspecciones. Las partes oxidadas deben ser reemplazadas, las áreas de drenaje limpias, las capas nuevas de pintura aplicadas y los refuerzos agregado si los niveles de tráfico han aumentado [Scheer, J. (2010). Failed Bridges: Case Studies, Causes and Consequences. Ernst&Sohn - Wiley. Germany].

En cuanto a los estudios de mantenimiento el Canadá hicieron una inspección de rutina (en los años 1997, 1998, 2000, 2001, 2003 y 2004) e inspecciones generales (en los años 1995, 1999 y 2002). Estas inspecciones condujeron esencialmente a los siguientes hallazgos [Johnson, P., Couture, A., and Nicolet, R. (2007). Report of The Commission of Inquiry into The Collapse of a Portion of The De La Concorde Overpass: Library and Archives Canada].



**Inspecciones, mantenimiento y reparaciones realizadas antes de 1985**

- Había poca información disponible sobre las inspecciones realizadas antes de 1985.

Inspecciones, mantenimiento y reparaciones realizadas entre 1985 y 1991

- Todavía en buenas condiciones, pero hay signos de deterioro.

Inspecciones, mantenimiento y reparaciones realizadas en 1992

- Reemplace las juntas de expansión como parte de un programa de reparación más grande que también incluyó la reparación de superficies de concreto y el reemplazo de asfalto

Inspecciones, mantenimiento y reparaciones realizadas desde 1993 hasta 2004

- Desde 1995, todos los informes mencionan que las juntas de expansión continúan teniendo fugas. En 1997, su reemplazo es considerado.
- En 1995, la losa recibió una calificación de 4, lo que habría requerido una evaluación de la losa a más tardar en 1999.
- La primera mención explícita de las grietas fue en 1997.
- Las reparaciones realizadas en 1992 parecen ser de dudosa calidad y en 2002, todas las piezas sueltas piezas de concreto fueron removidas en 2002, la calificación general del paso elevado fue bajado de "bueno" a "aceptable".

Inspecciones, mantenimiento y reparaciones en 2004

- La inspección especial de 2004 no cumple con los requisitos establecidos en los manuales y el informe.
- Esta inspección debería haber conducido a una evaluación de la condición de la estructura que incluye una evaluación de la capacidad de carga y una evaluación de la condición de los materiales. Es probable que la naturaleza de los problemas del paso elevado haya sido detectada.

**Inspecciones, mantenimiento y reparaciones entre 2004 y 2006**

- Se realizó una nueva inspección sumaria en octubre de 2004. En esencia, informó las mismas observaciones realizadas en inspecciones anteriores. El estado general del paso elevado fue calificado como "bueno".
- La última inspección realizada en el puente antes de su colapso se realizó en 2005. La calificación para las vigas de caja se redujo a 3 (extremidades).
- La principal intervención llevada a cabo en el puente entre 2004 y 2006 consistió en eliminar fragmentos sueltos de hormigón (mejora de la seguridad) bajo la superestructura. El trabajo se realizó el 15 de septiembre de 2005.



La revisión de las descripciones de inspección, que se había realizado durante los 20 años anteriores al colapso del puente, revela que el colapso podría haberse evitado si se realizara más rehabilitación. El colapso de este puente provocó una gran atención al mantenimiento e inspección de puentes durante su vida útil.



2.2.3 Deficiencia en la construcción

Una cantidad sorprendente de puentes colapsó mientras se construían. Se podría pensar que estos tipos de colapsos no son tan graves porque nadie conducía en el puente en el momento del colapso. Desafortunadamente, algunos de los colapsos más sangrientos de puentes en la historia han ocurrido durante la construcción del puente. Las vidas de muchos trabajadores están en peligro durante las etapas de construcción de un puente, mientras que, durante la vida útil, solo unos pocos vehículos podrían dañarse.

El estudio, de 38 puentes de un total de 1,062 falló debido a la deficiencia en la construcción. Aunque algunos puentes pueden no colapsar durante la construcción, están condenados al colapso en la vida útil debido a una deficiencia en la construcción. La Figura 7 (a) muestra que el 21% de los puentes fallaron durante su vida útil debido a la deficiencia en la construcción. La Figura 7 (b) muestra el material de los puentes que fallaron debido a detalles defectuosos en la construcción.

El acero y el hormigón comprendieron el 92%, mientras que solo el 8% de los puentes fallidos se fabricaron con otros materiales. De la clase 92%, acero los puentes representaron el 40% y los puentes de concreto representaron el 52%. Curiosamente, dentro del tipo de categoría de colapso, los colapsos parciales son más dominantes (65%) en comparación con los colapsos totales en 32%. La Figura 7 (c) muestra esta distribución. La Tabla 7 muestra el número de fallas de diferentes tiempos de falla debido a la deficiencia en la construcción. La Tabla 8 y la Tabla 9 dan la cantidad de fallas para diferentes tipos de materiales y tipos de fallas debido a deficiencias en la construcción.

Tabla 7: Tipo de falla debido a la deficiencia en la construcción

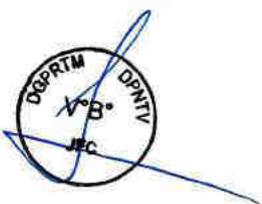
Tipo de falla	Número de fallas
Servicio	8
Construcción	30
Total	38

Tabla 8: Tipo de material en fallas de puentes debido a deficiencias en la construcción

Tipo de falla	Número de fallas
Acero	10
Concreto	13
Otros	4
Desconocidos	11
Total	38

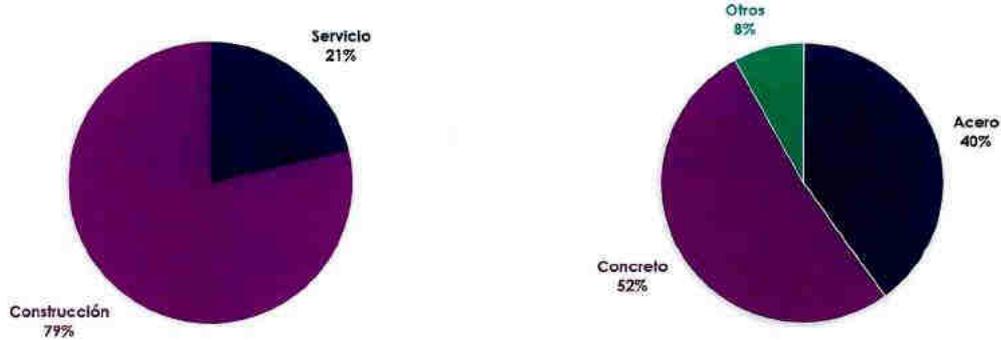
Tabla 9: Tipo de falla de puentes debido a deficiencias en la construcción

Tipo de falla	Número de fallas
Parcial	20
Total	10
Otros	1
Desconocidos	7
Total	38



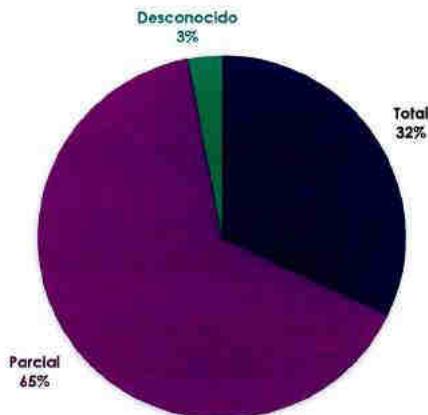


La Figura 7: Distribución de tiempo, tipo y material de puentes fallidos debido a deficiencias en Construcción



(a) Tiempo de fallas en el puente debido a deficiencias en la construcción (38 fallas)

(b) Tipo de material de los puentes que fallaron debido a deficiencias en la construcción (38 fallas).



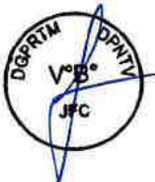
(c) Tipo de falla debido a la deficiencia en la construcción (38 fallas)



2.2.4 Defecto del material

Algunos colapsos de puentes son misterios cuando ocurren por primera vez. No es hasta que se completa una investigación detallada que se revela la verdadera causa. En ocasiones, la falla simple de un pequeño tramo del puente causó el colapso completo. A veces, se utilizaron materiales de baja calidad o defectuosos, lo que hace que todo el puente sea demasiado débil para resistir los rigores del tiempo.

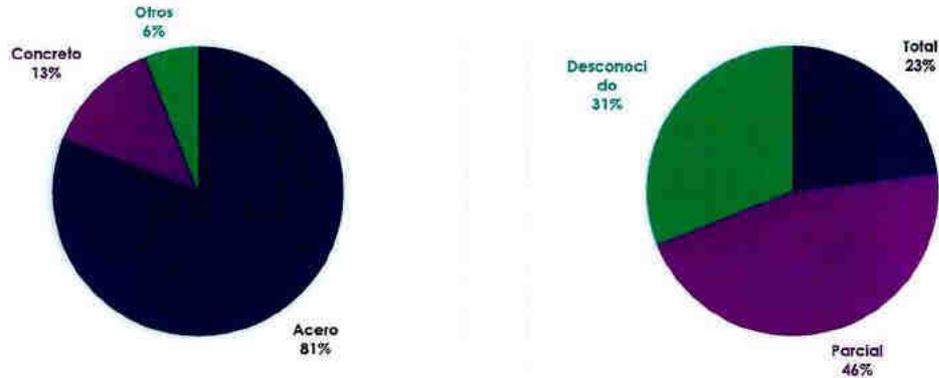
Antes de utilizar un nuevo material en la construcción de puentes, se deben realizar diferentes pruebas estructurales de los materiales. Toda la información sobre el nuevo material y su comportamiento debe ser examinada y no debe dejarse nada al azar para evitar fallas frágiles. Dieciocho (18) de los puentes en la base de datos de (Un estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), tuvieron la causa de la falla como defecto material. Como se muestra en la Figura 8 (a), los puentes de acero son más dominantes en comparación con otro tipo de material y esta información ayudaría al diseñador a considerar más precaución durante el diseño de los puentes de acero. El punto interesante en la Figura 8 (b) está relacionado con la gran cantidad de colapsos (31%) debido al defecto en el material. Para toda la base de datos, los colapsos por dificultades fueron solo del 1 por ciento. La alta frecuencia de las fallas de los puentes de acero se puede atribuir a su edad.





Otra causa de fallas en los puentes de acero puede ser la degradación ambiental (corrosión, oxidación, etc.) de los puentes de acero más que los puentes de concreto.

Figura 8: Tipos de materiales y tipos de fallas debido a defectos de materiales



(a) Tipo de material en los puentes que fallaron debido a un defecto de material (18 fallas)

(b) Tipo de material en los puentes que fallaron debido a un defecto de material (18 fallas)

2.3 CAUSAS EXTERNAS

Las causas externas que causaron fallas de puente se enumeran en la Tabla 10 en intervalos de 10 años.

A continuación, se enumeran las cinco principales causas externas de fallas en puentes (1980-2012): Inundación, socavación, colisión, sobrecarga y degradación ambiental

Tabla 10: Número de puentes que fallaron debido a causas externas

Falla por causas externas	2000-2012	1990-2000	1980-1990	Total
Inundación	40	154	107	301
Socavación	53	92	55	200
Colisión	51	55	57	163
Sobrecarga	37	31	67	135
Degradación ambiental	23	22	26	71
Fuego	12	10	8	30
Terremoto	1	11	8	20
Viento	8	8	1	17

Breves descripciones de cada una de las ocho causas externas se dan a continuación:

2.3.1 Terremoto

Los puentes, al igual que otras estructuras, pueden dañarse durante los terremotos. Durante la década de 1990, algunos grandes terremotos en Japón y los EE. UU. Provocaron el colapso de docenas de estructuras de puentes, y el signo más visible de deficiencia en los códigos de diseño sísmico fue el colapso de los puentes.

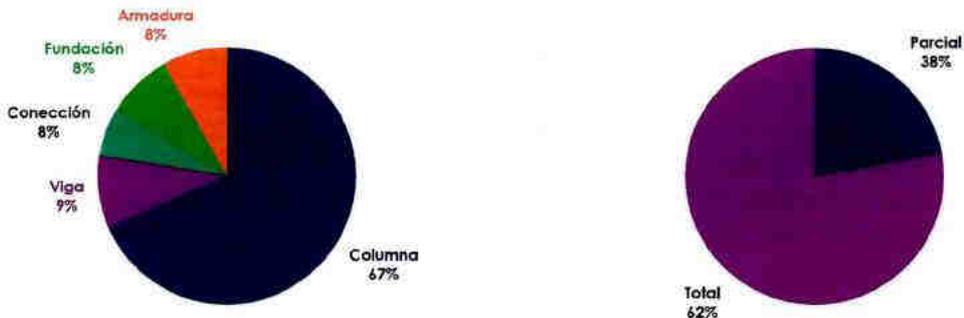
El puente se derrumba debido a los terremotos y se clasifica según los elementos estructurales (conexión, viga, columna, armadura, cimentación y rodamiento) que fallaron. La Figura 9 (a) muestra las partes fallidas del puente que necesitan más consideración durante el diseño. A partir de los datos recopilados en este (estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), se puede concluir que las columnas son la parte más importante en la resistencia de los puentes contra los terremotos, el 67% de las fallas se produjeron debido a la debilidad de la retro adaptación de las columnas. Teniendo en cuenta que esta distribución no incluye las 20 fallas de





puente causadas por un terremoto, porque faltaban algunos datos. En la Figura 9 (b).

Figura 9: Distribuciones del modo de falla y el tipo de falla por los colapsos del puente debido a un terremoto.



(a) Falla de elementos estructurales debido a un terremoto. (b) Tipos de fallas de puente debido a un terremoto.

2.3.2 Socavación

Se define como la erosión o la eliminación de cama o material banco de fundaciones puente debido a la corriente agua que fluye. Para minimizar el daño futuro de la erosión del puente y garantizar la seguridad, es necesario desarrollar e implementar procedimientos mejorados para el diseño de puentes e inspeccionarlos para evitar daños. Se debe evaluar cada puente sobre el agua en cuanto a su vulnerabilidad a la erosión a fin de determinar las medidas prudentes que se tomarán para ese puente, así como para todo el inventario [Scheer, J. (2010). Failed Bridges: Case Studies, Causes and Consequences. Ernst&Sohn - Wiley. Germany]. En este (estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), 200 colapsos de puentes ocurrieron debido a la socavación. Como se ve en la Figura 10 (a), los puentes de acero son más vulnerables a la erosión en comparación con otros materiales. En la Figura 10 (b) se registra el porcentaje de colapso parcial y total y se puede concluir que el colapso y el colapso total se distribuyen por igual en fallas de puentes debido a la socavación.

Figura 10: Tipos de materiales y tipos de fallas para el colapso de puentes debido a la inspección



(a) Tipo de material de los puentes fallidos debido a socavación (200 fallas). (b) Tipo de falla debido a socavación (200 fallas)

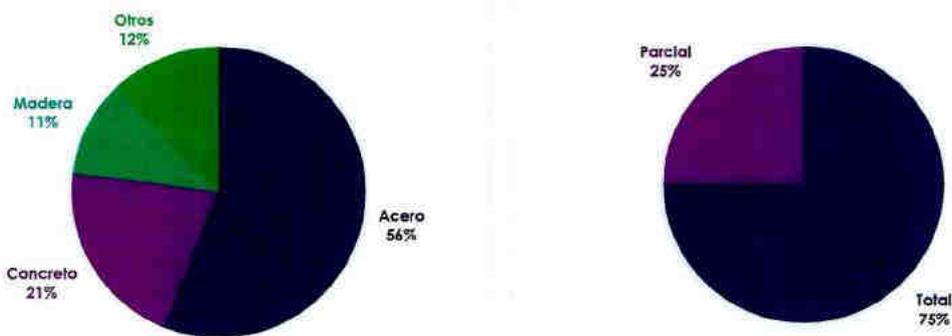


2.3.3 Inundación

La inundación puede generar el colapso de un puente de formas diferentes. La causa común de las fallas de puentes debido a inundaciones es el desgaste gradual de la tierra y el suelo alrededor de los muelles del puente. De esta forma, la fuerza del agua aumenta y, finalmente, cuando se reduce la capacidad de los puentes, el puente colapsa. La inundación también puede romper puentes por árboles o automóviles que son recogidos por el flujo antes de llegar al puente. Este impacto podría destruir el puente inmediatamente o podría hacerlo vulnerable a otras causas de falla [Wardhana, K. and Hadipriono, F.C. (2003). Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. Journal of Performance of Constructed Facilities. 17(3): p. 144-150.].

En (Un estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), 301 puentes de 1,062 fallaron debido a inundaciones. La Figura 11 (a) muestra que los puentes de acero al 56% son los más vulnerables a las inundaciones, mientras que el segundo lugar es para los puentes de concreto con un 21%. En esta clase, el número de fallas en el puente de madera es del 11%, que es grande en comparación con otras causas de fallas. Como se ve en la Figura 11 (b), la mayoría de los puentes que fallaron debido a una inundación, colapsaron por completo (75%), lo que es igual que otras causas externas de falla.

Figura 11: Tipos de materiales y tipos de falla en colapsos de puentes debido a inundaciones



(a) Tipo de material de los puentes que fallaron (b) Tipo de falla debido a inundaciones (301 fallas) debido a inundaciones (301 fallas)

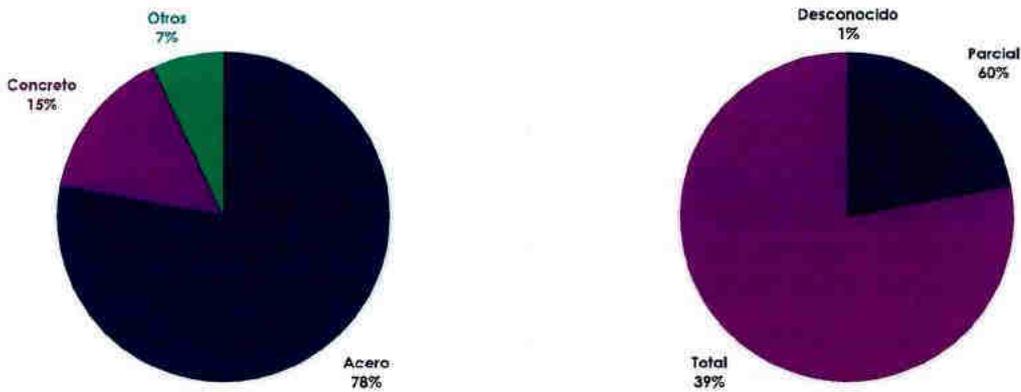
2.3.4 Colisión

Esta clase de falla ocurre principalmente debido a la colisión de barcos y puentes, pero otros tipos de fallas como la colisión de trenes o vehículos se pueden clasificar como este tipo de falla. Los barcos se mueven lentamente al pasar un puente en comparación con trenes o vehículos, pero el problema es la enorme masa de barcos. Incluso un pequeño contacto entre barcos y puentes puede provocar el colapso de un puente. La Figura 12 (a) muestra que los puentes de acero han incluido el 78% de las fallas debido a la colisión. El colapso parcial es más común en esta clase de fallas de puentes, como se ve en la Figura 12 (b).





Figura 12: Tipos de materiales y tipos de falla en colapsos de puentes debido a una colisión



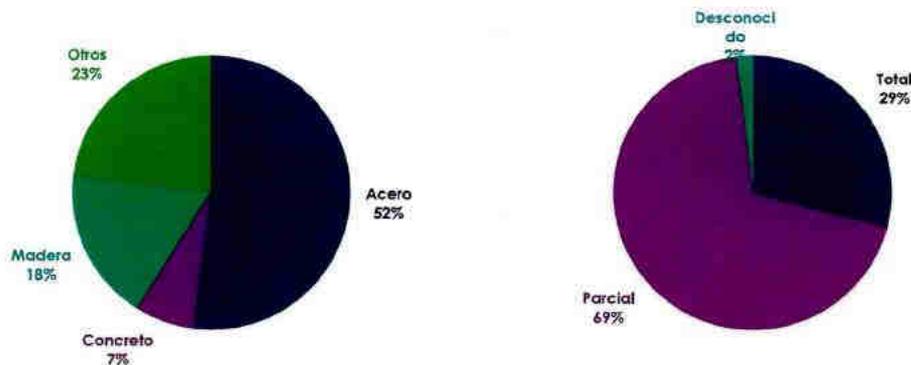
(a) Tipo de material de los puentes que fallaron debido a colisiones (163 fallas) (b) Tipo de falla debido a colisiones (163 fallas)

2.3.5 Degradación ambiental

Los materiales utilizados en los puentes son vulnerables a la degradación ambiental. En los puentes de acero, el metal primario utilizado es hierro y pueden ocurrir muchos problemas cuando este metal está en el medio ambiente.

La corrosión y la oxidación son dos problemas importantes, conocidos como "oxidación", que pueden debilitar la capacidad de los puentes, sea lo que sea que se alimente, y parecen burbujear el material. Los elementos estructurales del puente que contienen suficiente óxido pueden hacer que el puente se doble completamente o parcialmente como se ve en la Figura 13 (b). En puentes de concreto reforzado, la corrosión y el óxido pueden causar problemas debido al acero encerrado en el concreto. Los puentes con otros materiales también son vulnerables a la degradación ambiental. En la Figura 13 (a), el número de puentes de madera vulnerable a la degradación ambiental es del 18%. En este estudio, 71 de los 1,062 puentes colapsaron debido a la degradación ambiental.

Figura 13: Tipos de materiales y tipos de fallas del puente colapsan debido a la degradación ambiental



(a) Tipo de material de los puentes fallidos debido a la degradación ambiental (71 fallas) (b) Tipo de falla debida a la degradación ambiental (71 fallas).





2.3.6 Sobrecarga

La frecuencia y el peso de los camiones son dos causas principales de fallas en los puentes, especialmente en los puentes más viejos porque los camiones nuevos tienen más peso. Por lo tanto, para algunos puentes, se deben considerar limitaciones de carga detalladas para evitar fallas debido a sobrecarga. Las sobrecargas de puentes pueden contribuir a una aceleración del daño por fatiga en los puentes.

Las cargas de diseño de puente se han modificado para tener un límite seguro para puentes nuevos. La inestabilidad y las sobrecargas pueden ocurrir en ciertos puentes debido a un gran efecto de efecto dinámico.

En ocasiones, incluso el ancho de los camiones nuevos puede hacer colapsar un puente debido a su configuración de diseño inadecuada [66]. En este estudio, 135 puentes fallaron debido a la sobrecarga. El 76% de las fallas del puente causadas por la sobrecarga colapsan por completo como se muestra en la figura 14 (b). En esta clase de falla, los colapsos parciales no son tan comunes como otras clases de fallas. La Figura 14 (a) muestra que los puentes de acero son más vulnerables a fallas debido a una sobrecarga del 64%. El porcentaje de puentes de madera al 5% es interesante en esta clase.

La única fórmula de diseño calibrado en el AASHTO LRFD actual es el límite de resistencia que establece I, es decir, la combinación de carga muerta y carga en vivo. Según Nowak, un índice de confiabilidad razonable para el diseño del puente es 3.5; es decir, la probabilidad de falla es igual a 0.000233. Una calibración aproximada posible es: si se supone que hay aproximadamente 600,000 puentes, y la probabilidad de falla debido a carga muerta y carga viva puede representarse por sobrecarga, entonces el resultado es $135 / 600,000 = 0.000225$, con el índice de confiabilidad correspondiente igual a 3.51.

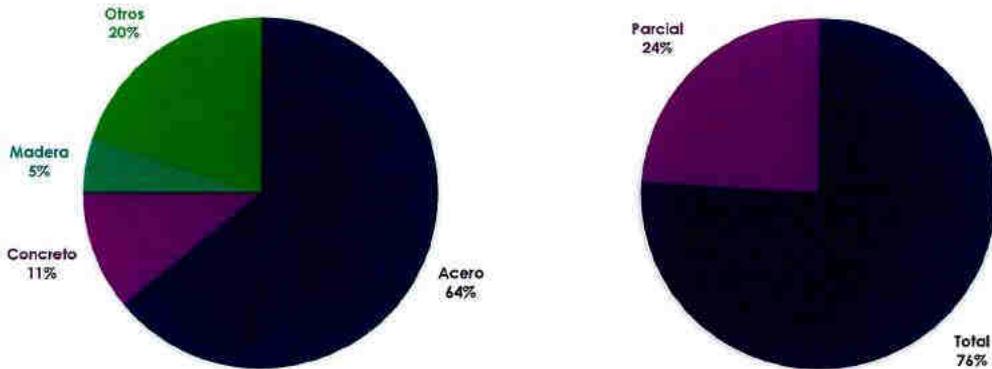
El acuerdo de estos dos resultados no solo calibra la racionalidad del actual AASHTO LRFD, sino que también verifica la necesidad de una recopilación y comprensión adecuadas de la información sobre daños.

Este tipo de calibración se puede extender a casos de eventos extremos con diferentes suposiciones y condiciones. Por ejemplo, la asunción del denominador debe seleccionarse cuidadosamente al calcular la probabilidad de falla debido a la influencia de un evento extremo en un área determinada, como un terremoto, una inundación, un tsunami, etc.





Figura 14: Tipos de materiales y tipos de fallas para colapsos de puentes debido a sobrecarga.



(a) Tipo de material de puentes fallados debido a sobrecarga (135 fallas). (b) Tipo de falla debido a sobrecarga (135 fallas).

2.3.7 Fuego

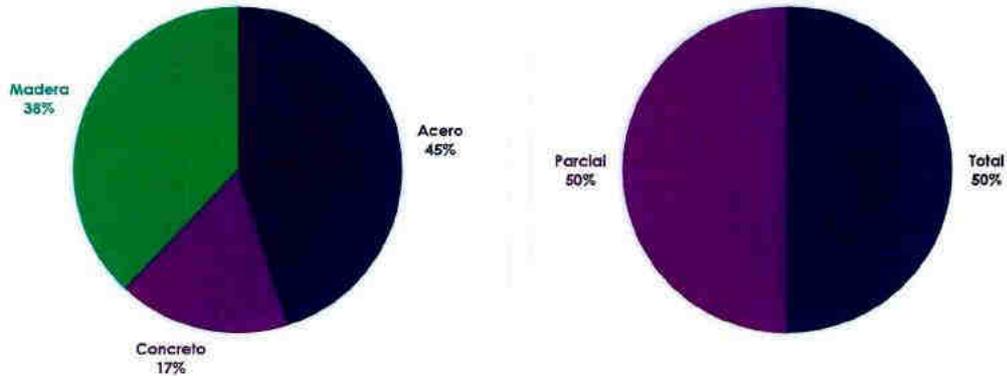
Los puentes de madera son muy vulnerables al fuego y la reducción del número de estos tipos de puentes ha provocado una disminución correspondiente del número de fallas de puentes debido a incendios.

El fuego es una de las causas más raras de fallas en puentes. De hecho, en un momento era mucho más común, cuando la mayoría de los puentes eran de madera. Los puentes de tren eran especialmente susceptibles al fuego, debido a las chispas entre los rieles de acero y las ruedas de acero durante los vientos y las condiciones de clima seco. Sin embargo, los puentes de acero, puentes de concreto y otros tipos de puentes pueden ser susceptibles a fallas por fuego. El choque de un petrolero que transportaba una gran cantidad de las sustancias inflamables, los incendios forestales o los incendios provocados puede derribar un puente moderno. Debe mencionarse que, aunque el fuego pudo haber iniciado la falla, la mayoría de las veces también hay otra causa de falla [Grabianowski, E. *10 Reasons Why Bridges Collapse*. 2011]. En este (estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), 30 puentes fallaron debido a un incendio. Los porcentajes de colapso parcial o total son exactamente los mismos, casi similares a toda la base de datos. La Figura 15 (a) muestra que las fallas en puentes de madera tienen un porcentaje significativo en esta categoría en 38%. Los puentes de acero siguen siendo el material más vulnerable al 45% en comparación con otros tipos de materiales.





Figura 15: Tipos de materiales y tipos de falla en los colapsos del puente debido al fuego.



(a) Tipo de material de los puentes fallidos debido a incendio (30 fallas) (b) Tipos de falla debida al fuego (30 fallas)

2.3.8 Vientos, tormentas de viento y huracanes

Los huracanes, los tornados y las tormentas invernales pueden arruinar la estructura total de los puentes y estos eventos extremos de peligro pueden ocurrir en cualquier lugar y en cualquier momento. En 2003, un Informe de la Oficina de Ciencia y Tecnología: Evaluación de la Investigación y Desarrollo Federal para la Reducción de Pérdidas por Peligro, publicó un cálculo de las pérdidas totales por viento y huracanes e informó que el daño fue de alrededor de \$ 11.3 mil millones como se muestra en la Tabla 11 [Bosch, H.R. (2011). Winds, Windstorms and Hurricanes. Public Roads. 74(4)].

Tabla 11: Estimación del daño anual por peligros debido a eventos extremos

Tipo de peligro	Daños anuales por riesgo (\$ billones)
Huracanes	5.0
Tormentas	0.3
Tornados	1.0
Viento	6.3
Inundación	3.0
Terremoto	4.4

(Source: Meade and Abbott 2003)

Las vibraciones en todo el puente o en un elemento del puente como vigas, cubiertas, columnas o vigas se pueden iniciar debido al viento. El puente Tacoma Narrows en Tacoma, WA, el 7 de noviembre de 1940, es un ejemplo de este tipo de falla [Bosch, H.R. (2011). Winds, Windstorms and Hurricanes. Public Roads. 74(4)].

En este (estudio de las fallas de los puentes estadounidenses (1980-2012) por George C. Lee, Satish B. Mohan, Chao Huang y Bastam N. Fard), se incluyeron 17 fallas de puentes debido al viento, y en un esfuerzo separado, se recogieron 29 fallas de puentes debido al huracán Katrina en 2005. En la Figura 16 (b), el colapso total debido al viento es dominante al 78% y hace una gran diferencia en comparación con toda la base de datos.

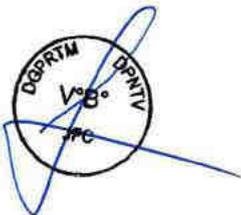




Figura 16: Tipos de materiales y tipos de fallas en los colapsos del puente debido al viento extremo



(a) Tipos de materiales de los puentes que fallaron debido al viento extremo (17 fallas)

(c) Tipos de fallas debidas al viento extremo (17 fallas)





CAPITULO III

IMPORTANCIA, DIRECTRICES Y RESPONSABILIDADES EN LA INSPECCIÓN DE PUENTES

3.1 GENERALIDADES

Los puentes requieren de labores de inspección para conocer su estado, a fin de prevenir su deterioro, así como, emprender labores de conservación y en casos extremos evitar su colapso parcial o total. Estos imprevistos producen, en algunos casos pérdidas económicas y humanas y genera retraso en el desarrollo económico de la zona.

Inconvenientes que constituyen un problema crítico en países en donde no se tienen variantes o vías alternas que permitan desviar el tráfico mientras se realizan labores de recuperación o la construcción de puente nuevo. Dicho imprevisto se puede prevenir o evitar a través del seguimiento de estas obras de infraestructura vial.

En un sistema de gestión de puentes se tendría los siguientes alcances:

- Predicción de las necesidades de mantenimiento y de los fondos requeridos
- Elaboración de listados de puentes por prioridades de rehabilitación
- Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio
- Búsqueda de alternativas de rehabilitación de cada puente desde un punto de vista técnico y de costo – beneficio.
- Cuantificación de los costos de inversión por puente
- Identificación de las obras de mantenimiento menor
- Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones.

3.2 FRECUENCIA DE INSPECCIONES

Los puentes en servicio deben ser monitoreados de manera permanente e inspeccionados a intervalos regulares sin exceder los dos años, y a intervalos mayores para ciertos puentes, cuando dicha acción esté justificada a través de informes anteriores y su historial de desempeño.

Si las inspecciones se proponen a intervalos mayores a los dos años, es recomendable desarrollar un plan detallado que incluya los criterios de clasificación de estructuras por intervalos de inspección y la intensidad prevista de dichas inspecciones en cada intervalo. Se deben tomar en cuenta factores tales como la antigüedad, el volumen de tráfico, configuración estructural, grado de deterioro, historial de desempeño, impactos sociales y económicos debido a que el puente este fuera de servicio.

Los componentes sumergidos del puente deben ser inspeccionados cada tres (3) años con personal especializado. La época más recomendable para realizar esta inspección es al término de la temporada de lluvias, cuando baja los niveles de agua y facilite el acceso bajo las obras y se observa los indicios de socavación, que es causa principal del colapso del puente. En casos extraordinarios se deberá disponer de inspecciones especiales.

La inspección, generalmente es visual y física, existiendo técnicas avanzadas (destruktivas y no destruktivas), para la evaluación del concreto, acero y madera. En la Tabla 12 se indican los tipos y el periodo para efectuar las inspecciones.



Tabla 12: Tipos y periodos para la inspección de los puentes

Tipo de inspección	Periodicidad de inspección
Inspección básica o rutinaria	Permanente, Contrato de conservación
Inspección principal	Cada 5 años *
Inspección especial	Según índice de gravedad **

- *Estos periodos corresponden a situaciones normales, en las cuales no se presentan problemas en las inspecciones rutinarias de procedencia.
- ** de cada inspección principal se obtendrá un índice de gravedad escalado, que, según la valoración, concluirá la necesidad de la realización de una inspección principal.

3.3 DIRECTRICES PARA LA INSPECCIÓN DE DAÑOS

Se realizará de manera pormenorizada y detallada la inspección y evaluación del daño estableciendo procedimientos estandarizados para la inspección, los informes deberán ser claros y sustentados, la evaluación de ingeniería y el monitoreo de reparaciones deberán ser completadas y registradas en una base de datos. El monitoreo de las reparaciones se debe incluir en la inspección de daños. Y con la información obtenida de la investigación, se recomienda que el personal responsable para la inspección y evaluación de daños desarrolle las especificaciones y procedimientos previos al momento en que se requiera responder a un incidente de daño. Esto optimizará un tratamiento uniforme y un progreso más ordenado. Estableciendo procedimientos, sin la presión de una emergencia, debería resultar en mejores prácticas.

La coordinación y el intercambio de información debe ocurrir entre todo el personal que participará en la inspección y evaluación de procesos. Todas las áreas que se encargan de la gestión de puentes y los que participaron en esta investigación podrán organizar esta área del problema de una manera que se adapte a sus necesidades particulares.

3.4 OFICINA RESPONSABLE DE LA INSPECCIÓN

La oficina de inspección de puentes será el área responsable de designar a los ingenieros especialistas en puentes para formular los planes y programas de inspección, y su aplicación. Dichos estudios, análisis y/o recomendaciones deberán ser sustentados con estudios técnicos de ingeniería que avalen las alternativas de solución.

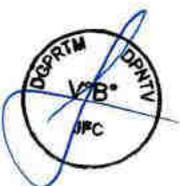
Un componente principal para la evaluación del ingeniero responsable de la oficina de inspección de puentes, es que deberá ser un ingeniero especialista en diseño, construcción, mantenimiento e inspección de puentes.

Calificación del inspector: La inspección de daños debe ser realizada por profesionales especializados en puentes, y para el daño severo debe ser inspeccionado por un equipo multidisciplinario de ingenieros especializados en puentes.

3.5 INSPECCIÓN INICIAL Y ACCIÓN

Los principales objetivos de la inspección inicial es salvaguardar la seguridad del usuario y la reducción de daños adicionales al puente.

Cuando el daño es severo, un ingeniero estructural debidamente capacitado y con experiencia, debe hacer la inspección inicial y determinar sin restringir el tráfico o cerrar el puente.





El fortalecimiento preliminar debe hacerse de inmediato para evitar daños mayores y también se puede hacer para permitir el tránsito en el puente. Estas acciones preliminares normalmente se basan en el análisis complementado por cálculos. Si un daño es severo y los miembros de la estructura es crítica, se deben tomar medidas inmediatas para prevenir el colapso del puente. Cuando un miembro de la estructura está dañado más allá de una reparación, el ingeniero puede recomendar en este momento que el puente sea reemplazado parcialmente o totalmente.

Quando se requiere el cierre del puente, se debe permitir el tiempo suficiente para desarrollar una inspección adecuada y exhaustiva. Y cuando la seguridad del usuario está en duda, el puente debe cerrarse hasta que sea restaurado con seguridad. La inspección y evaluación de daños que involucran la seguridad estructural normalmente puede requerir tiempo para el análisis.

Todos los sistemas estructurales deben diseñarse para garantizar la seguridad del usuario, el tiempo requerido para restablecer el tráfico dependerá de la severidad del daño y variará con cada accidente. La ingeniería del personal debe reconocer la necesidad de conveniencia para evaluar el daño y preparar un plan de acción con prioridades, este plan debe priorizar la seguridad del usuario sobre la restauración de tráfico.

3.6 SECUENCIA DE INSPECCIÓN Y REGISTRO

La inspección de daños comienza con el registro de las áreas más críticos y áreas aledañas, seguida por la inspección de otros daños en orden descendente de severidad, continuando con la inspección de los principales miembros que soportan la carga. En los miembros que trabajan a tensión se evalúan las grietas, los miembros que trabajan a compresión son inspeccionados para ver si hay indicaciones de pandeo, es necesario efectuar una descripción completa y detallada del daño para cada miembro dañado.

Todas las áreas inspeccionadas, con daños y sin daños deberán ser grabadas en audio y video. Este procedimiento ayudará al proceso de toma de decisiones.

3.7 EQUIPOS Y HABILIDADES DE INSPECCIÓN

En necesario tener un acceso seguro al área dañada, de ser necesario se debe proveer de un camión con plataforma de altura ajustable o similar, ya que estos equipos son útiles para verificar y asegurar el trabajo de la inspección.

Los camiones serán usados a su vez para verificar y asegurar, que la estructura dañada pueda soportar cargas, antes de iniciar la inspección se debe colocar cargas en la estructura del puente. Puede que parezca obvio, pero una gran cantidad de información se puede obtener de la inspección visual.

El personal asignado para los trabajos de inspección debe tener buena vista y una mente crítica. Para la mejor evaluación de las deformaciones significativas, distorsiones, las grietas y las hendiduras a menudo pueden detectarse solo con la vista.

Una linterna y un espejo son excelentes herramientas para lugares inaccesibles.

Debe incluirse una lupa con aumentos de 10, para la detección de grietas comparativamente pequeñas, la superficie debe estar limpia.

Las superficies pintadas deben inspeccionarse visualmente en busca de grietas, las grietas en pintura y manchas de óxido son indicios de agrietamiento en puentes de acero.

Quando hay dificultad y duda sobre la capacidad de inspeccionar por grietas, la pintura debe ser eliminada. En los miembros críticos de la fractura dañada debe limpiarse con





chorro de arena y debe inspeccionarse la partícula magnética.

Se recomienda al equipo de inspección tener un buen equipo de cámara, además de una cámara convencional, cámara de fotos instantánea incluida. La cámara de fotos instantánea proporcionará imágenes inmediatas para fines de evaluación, mientras las fotografías convencionales proporcionarán la grabación. Se debe proporcionar capacitación para garantizar que haya suficiente número de imágenes correctamente descriptivas de cada daño.

3.8 REPORTE DE INSPECCIÓN

Es necesario desarrollar un formulario estándar para ser utilizado en los informes de daños de los elementos que son comunes a todos los miembros dañados, tales como el nombre del puente, la ubicación y las condiciones del sitio, los cuales se pueden mostrar en un solo formato. Por lo general, se requerirá una hoja de formulario separada para cada miembro, y puede ser apropiado usar diferentes formas para cimentaciones y vigas.

Es necesario, tener archivos adjuntos estándares que permita describir completamente los daños, la utilidad de una forma estándar es principalmente establecer de manera organizada los resultados de la inspección. Un formulario de inspección también sirve como un recordatorio para el inspector de los diversos artículos a inspeccionar. Todos los informes deben ser claros y legibles.

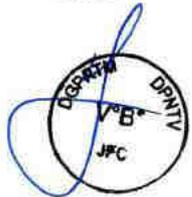
Se recomienda a las instituciones encargadas de la gestión de los puentes contar con una Base de Datos para el inventario y el desarrollo de la inspección de los puentes existentes. Estos datos son valiosos para tener información a priori, que puede ser usada durante la inspección del puente, así como pueden complementar los formularios. Cuando no se cuenta con base de datos será necesario hacer más formatos. Los componentes del puente deberán ser identificado con precisión de acuerdo con la DATA y / o con formatos claramente detallados.

Unas buenas fotografías son muy útiles para efectuar las evaluaciones de daños y reparaciones subsiguientes. Todas las fotografías deben estar claramente etiquetadas, indicando el nombre del objeto, dirección de vista y distancia aproximada al objeto. La cantidad de flexión y giro se medirán en puntos suficientes para dibujar una curva precisa.

Se debe establecer un sistema de registros con referencias cruzadas para proporcionar acceso fácil a todos los incidentes de daños de puentes. Este sistema debe proporcionar un acceso rápido a los informes de inspección.

El contenido del informe de la inspección debe incluir como mínimo lo siguiente:

- Nombre del puente
- Descripción de la ubicación del puente, incluido el mapa de ubicación
- Fecha del daño
- Fecha de inspección
- Informe de accidente
- Causa del daño
- Condiciones del sitio
- Daño por tráfico
- Daño sobre el agua
- Descripción del daño





- Tipo de estructura
- Información sobre la inconveniencia del usuario
- Planes de puente si están disponibles
- Bocetos suplementarios
- Identificación del miembro
- Categoría de miembro
- Fractura Crítica
- Fallas primarias
- Fallas secundarias
- Fallas por compresión
- Fallas por tensión
- Tipo de acero
- Dimensiones de grietas
- Desplazamiento y curvatura de miembros
- Rotación de miembro o rumbo
- Fotografías
- Descripción narrativa
- Factores que pueden afectar las soluciones de reparación
- Descripción de la acción inicial
- Restricción de tráfico
- Fortalecimiento de miembros
- Otros



3.9 MONITOREO DE LAS MEJORAS



La inspección de seguimiento de las reparaciones y/o mejoras deberá ser regulares. Todas las reparaciones recomendadas deben estar destinadas a restaurar la estructura del puente. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la restauración completa puede no ser posible por todos los daños.

Por otro lado, es necesario considerar las consideraciones como el costo y la inconveniencia del usuario, que también pueden influir en las reparaciones que tienen un elemento y la restauración completa. Los miembros que tienen una restauración completa deben inspeccionarse con la misma frecuencia que el puente completo, la frecuencia debe ser establecida por el área de gestión de puentes y se debe advertir al especialista responsable del mantenimiento del puente.



3.10 DIRECTRICES PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS

Las causas principales de los daños se deben a los impactos de sobrecarga del vehículo. Otra de las causas informadas de daños fueron vehículos con sobrepeso, exceso de ancho vehículos, vehículos fuera de control.

El área responsable podrá tomar uno de las tres decisiones:

- Hacer nada.
- Reparar.



- Reemplazar.

La reparación incluye el reemplazo parcial de los elementos del puente.

La evaluación del daño no llega a la "Selección de reparación"

3.11 EVALUACIÓN DEL DAÑO POR QUIEN Y DÓNDE

La evaluación preliminar se realizará durante la inspección de los daños como se describe en inspección inicial y en la evaluación final del daño se realizará preferiblemente por los mismos profesionales que inspeccionaron el daño. La evaluación del daño y/o fallas también puede ser realizada por otros ingenieros con experiencia en analizar los elementos dañados. Al menos debe participar un experimentado ingeniero estructural en la evaluación final del daño.

Los profesionales involucrados directamente en la evaluación de la selección de los tipos y métodos de reparación, sin duda deben considerar la importancia del tiempo. La administración, sin embargo, debería no colocar distracciones indebidas o presión sobre las personas directamente involucradas. Las mejores decisiones de reparación se toman cuando la presión es limitada, y generalmente minimiza el tiempo total de reparación.

3.12 INCONVENIENCIA DEL USUARIO Y VELOCIDAD DE REPARACIONES

La inconveniencia de los usuarios y la velocidad de las reparaciones están interrelacionadas y se consideran como uno en esta guía. Los siguientes son directrices generales que deben considerarse para abordar estos procedimientos:

- La seguridad para los usuarios y la fuerza de la estructura deben tener importancia primordial.
- Las decisiones sobre la estabilidad del daño de la estructura, o partes de la misma, debe ser conservadora.
- Dependiendo de las acciones requeridas por el daño, se debe establecer el mejor sistema de control de tráfico. Para reducir inconvenientes al usuario, las rutas de desvío deben establecerse considerando la seguridad vial.
- Reconociendo que probablemente se tomó la decisión inicial solo en la inspección del daño, la evaluación de ingeniería debe hacerse inmediatamente. ¿Debería la evaluación de ingeniería determinar que restricciones se presentan?
- La necesidad de cualquier equipo especializado y materiales debe ser establecido, antes de dar inicio a los trabajos, y la aceptabilidad de técnicas de reparación en el lugar deben establecerse antes de un accidente.
- El equipo debe estar entrenado y equipado para responder a emergencias. Este equipo podría entrenar y supervisar al personal en el trabajo.
- La velocidad de reparación requerida puede dictar el reemplazo o técnicas de reparación en el lugar, y la capacidad de cada empresa para responder a una situación particular puede dictar la decisión final.
- Las condiciones climáticas también pueden influir en la rapidez de las reparaciones y causar inconveniencia a los usuarios.
- En general, las técnicas de reparación in situ resultarán con menos inconvenientes para los usuarios. Debido a menores trabajos de eliminación, las técnicas de reparación en el lugar deben ser por lo general más rápidas.





3.13 REQUISITOS Y OBLIGACIONES DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN

Requisitos mínimos del Inspector:

Inspector:

Ingeniero civil colegiado y habilitado para el ejercicio de la profesión, con por lo menos 5 años de experiencia en vialidad y 3 años como mínimo en diseño, evaluación y/o inspección de puentes, tener conocimiento de los materiales y el comportamiento estructural de sus elementos.

Obligaciones del Inspector:

- Organizar la inspección.
- Ejecutar la inspección.
- Preparar el informe pertinente con las recomendaciones debidamente sustentadas y/o justificadas.

Para la recopilación de la información se utilizará los formatos que se adjuntan como Anexo III; que servirán para la toma de datos en la inspección, así como en los procedimientos de calificación de componentes del puente y el Anexo IV muestra los detalles gráficos de elementos a inspeccionarse.

Finalmente deben asegurar que todas las partes visibles del puente sean inspeccionadas y que la documentación del levantamiento de información se encuentra completa y correctamente formulada.

Se adjunta, como Anexo V, Defectos y Problemas de los Puentes y, como Anexo VI, los Diferentes Tipos de Pruebas en los Componentes de un Puente.

3.14 SEGURIDAD DEL PERSONAL DURANTE LA INSPECCIÓN

Generalmente las estructuras de los puentes están expuestas para una inspección visual, pero en muchos casos será imposible la observación detallada sin los medios auxiliares de acceso a los distintos puntos de la misma. Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación y seguridad del personal de la inspección a las distintas partes de la estructura se incluyen desde los medios básicos (casco, cinturones de seguridad, escaleras, etc.) hasta los sistemas muy complejos como las pasarelas y canastillas desarrolladas para la inspección de puentes, pasando por sistemas integrados en la propia estructura (agujeros de acceso a pilares huecas, escaleras de acceso y vigas cajón en puentes).

La cara inferior del tablero, es la zona donde suelen concentrarse la mayoría de los problemas y para salvar la dificultad del acceso es necesario contar con medios auxiliares que permitan realizar la auscultación en las máximas condiciones de seguridad para el equipo humano que realiza el trabajo y con la mínima interrupción de la funcionalidad de la vía en la que se encuentra la estructura.

Compete al inspector verificar que el personal a su cargo realice su trabajo con las medidas de seguridad y salubridad mínimas exigibles conforme a la normativa vigente.





CAPITULO IV TIPOS DE INSPECCIÓN

4.1 GENERALIDADES

En el ámbito de la presente Guía, se entiende por inspección al conjunto de actuaciones técnicas realizadas para determinar las condiciones físicas y estructurales de un puente, de tal manera que permita conocer en un momento determinado el estado situacional de la infraestructura, para iniciar con las acciones de mantenimiento, o priorizar sus niveles de intervención.

La inspección de un puente tiene dos objetivos principales, asegurar el tránsito diario sin riesgo sobre la estructura, e identificar de manera oportuna cualquier daño y/o deficiencia existente, para emprender con las acciones correctivas que eviten el deterioro progresivo del puente.

El tipo de inspección puede variar sobre la vida útil de un puente, para reflejar la intensidad de inspección requerida en el momento de la inspección.

Los tipos de inspecciones que se emplean para la gestión de puentes se muestran en la Figura 17.

Figura 17.- Tipos de Inspección.



Se establecen distintos niveles de inspección que se diferencian en su intensidad, frecuencia, medios humanos y materiales empleados.

Como resultado de dichas inspecciones se determinan las operaciones de mantenimiento o conservación necesarias; para prevenir su deterioro adoptando medidas de rehabilitación u otras actividades especiales, las cuales deberán contar con un sustento técnico.

A fin de monitorear el estado situacional de un puente existente y evaluar cada uno de los elementos, es necesario contar con un programa de inspecciones detallados y organizado, que permitan registrar todos los antecedentes que contengan su historial, información de diseño estructural, descripción de la infraestructura y superestructura, información de tránsito, evaluación de cargas e inspecciones anteriores, entre otros aspectos.

La Ingeniería de Puentes ha venido alcanzando gradualmente avances tecnológicos significativos e importantes dando origen a diversos tipos de puentes a lo largo de la historia. El Anexo I describe las características principales de los diferentes tipos de puentes; y en el Anexo II, se presentan los gráficos de los diferentes tipos de estructuras de puentes.

4.2 ESQUEMA DE DESARROLLO

El esquema que se plantea es considerando los antecedentes de cada puente, generando o creando necesariamente una base de Data que cuente con prototipos con lenguajes técnicos amigables y que este sistema se encuentre integrado con las diferentes áreas de gestión, el cual permitirá brindar una información pormenorizada a las diversas consultas sobre el desempeño de los puentes, basado en datos obtenidos por medio de los sistemas de información geográfica, medición cuantitativa del desempeño, modelos de confiabilidad estructural e información técnica de la estructura. En la Figura 18 se muestra el esquema de desarrollo a modo de ejemplo.

Figura 18.- Esquema de desarrollo

<ol style="list-style-type: none"> 1. Detección daño 2. Localización daño 3. Tipificación daño 4. Extensión daño 	<p>Inspección Básica Principal Especial</p>	<p>SHM (Deformación Deflexión, Vibración, Desplazamiento). AMBIENTAL (Caudal/Nivel de agua, Temperatura, Humedad, Erosión). TRANSITO (Conteo de vehículos/ejes, Peso en movimiento, Velocidad). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES (Inspección de Losas, Inspección remota con Drones, ETC.).</p>	TOMA DECISIONES
	<p>Monitoreo definido tiempo Pruebas especiales Pruebas de carga</p>		
	<p>Monitoreo permanente</p>		

4.3 COMPONENTES PARA LA INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN

El área encargada de la gestión del puente deberá contar con profesionales de diferentes áreas de la ingeniería de puentes, para evaluar cada componente de los puentes y podrán utilizar diversas herramientas, tanto para desarrollar el informe técnico, el proceso de reconstrucción, u otra actividad. En la Figura 19 se presenta un ejemplo de componentes básicos.

Figura 19.- Componentes





4.4 INSPECCIÓN INICIAL (DE INVENTARIO)

La inspección inicial o de inventario de un puente, es una actividad previa y necesaria que permitirá obtener una base de datos confiable y homogénea, necesaria para un sistema de administración de puentes, en esta etapa se deberá registrar la data del puente como, por ejemplo: su localización, tipología, características geométricas, materiales utilizados en su construcción, etc. Por otra parte, la data obtenida permitirá establecer una línea base de las condiciones estructurales, identificando los problemas existentes que puedan comprometer a la estructura en el transcurso de su vida útil.

Las áreas encargadas de la gestión de los puentes deberán mantener un registro completo, preciso y actualizado para cada puente bajo su jurisdicción. El registro de datos es un historial completo y acumulado de cada estructura, incluyendo detalles de los daños evidenciados, rehabilitaciones y reforzamientos realizados, capacidad de carga de la estructura, u otra información relevante que permita programar futuras intervenciones, aspectos que coadyuvan en una gestión efectiva de puentes.

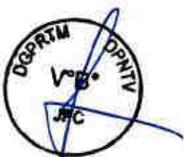
Los datos del inventario proveen información que generalmente no están sujetos a modificaciones sustanciales. Mínimamente para cada puente deberá registrarse la siguiente información:

a) Datos generales:

- Nombre del puente
- Número y código de ruta
- Clasificación de la ruta
- Kilómetro
- Ubicación: departamento, provincia, distrito.
- Administración: Provias, Gobiernos regionales, provinciales o locales encargadas de mantenimiento.
- Coordenadas geográficas: latitud y longitud.
- Año de diseño, construcción, reconstrucción.

b) Información básica:

- Dirección de la vía
- Tipo de estructura
- Carga viva de diseño
- Longitud Total
- Especificación de diseño
- Número de Superestructura
- Número de tramos
- Número de subestructura
- Longitud de desvío
- Pendiente longitudinal
- Fecha de última pintura
- Servicios públicos
- Cruza: sobre o debajo de que obstáculo.
- Tipo de pavimento
- Espesor original de pavimento y espesor de sobre capa.
- Conteo de Tráfico IMD.
- Restricciones: de carga, altura o ancho.



**c) Características de diseño geométrico.**

- Ancho total del puente
- Ancho de la calzada
- Ancho de la losa de aproximación
- Ancho y altura de aceras, barandas, divisorio de carriles (en caso de que haya).
- Altura libre vertical inferior y superior.

d) Antecedentes de inspección:

- Fecha
- Inspector
- Tipo de inspección

e) Antecedentes de rehabilitación:

- Fecha
- Elementos
- Resumen de contramedidas

f) Cuadros para:

- Mapa con ubicación
- Fotografía de vista panorámica
- Observaciones

Para el registro de datos en la hoja de inventario de puentes se necesita tener acceso a los planos de construcción de los puentes, de los cuales se obtendrán la siguiente información: carga viva de diseño, dimensiones del puente, especificación utilizada, fecha de diseño, tipo de puente, número de tramos, de superestructura y subestructura.

4.5 INSPECCIÓN RUTINARIA (BÁSICA)**4.5.1 Definición**

Se define por Inspección Rutinaria (Inspección Básica) a la inspección visual desarrollada por personal con conocimientos de diseño, construcción y mantenimiento de puentes. Este nivel de inspección constituye una sistemática útil para detectar deterioros de forma temprana y poder así prevenir que estos generen deterioros graves, así como para localizar daños que necesiten una reparación urgente.

Los resultados de una inspección rutinaria deben estar completamente documentados a través de Fichas Técnicas, que deben consignar fotografías que identifiquen apropiadamente los daños o deterioros, además un reporte que incluya recomendaciones generales para el mantenimiento y/o reforzamiento, o para programar un seguimiento e inspección especial si es necesario.

Las Inspecciones Rutinarias podrán ser efectuadas por las áreas encargadas de la conservación de la carretera, las cuales también realizan labores de vigilancia en ésta. Su objetivo es hacer un buen seguimiento del estado de las estructuras, para detectar lo antes posible las fallas aparentes que podrían originar gastos importantes de conservación o reparación si no son corregidos a tiempo. Para ello se reconocen las distintas partes de la obra de paso, su estado de conservación y la evolución de los posibles deterioros.

Por tanto, se prestará especial atención durante la realización de esta inspección visual a la detección de daños que impliquen:

- Afectación a la seguridad del usuario.





- Degradación de las características funcionales o resistentes de los elementos de la obra de paso. Teniendo en cuenta en lo posible su carácter preventivo.
- Se determina la periodicidad de este tipo de inspecciones, estableciendo un lapso de tiempo entre inspecciones de 18 meses, a fin de obtener datos en diferentes estaciones climatológicas y
- Se define la ficha tipo de elementos a inspeccionar, que se incorpora en el Anexo III.

En cualquier circunstancia, siempre que la infraestructura del puente sea objeto de una situación anómala, será necesario realizar una nueva inspección básica independientemente de la medida estipulada. alguna de estas situaciones accidentales puede ser: impactos de vehículos en la obra de paso, desbordamientos, terremotos, etc.

Como consecuencia de ellas se emprenden, en general, actuaciones de conservación ordinaria, pero también puede surgir la necesidad de otro tipo de inspección más detallada que finalmente conlleve realizar actuaciones de conservación extraordinaria, reparación o incluso rehabilitación.

4.5.2 Medios necesarios

Las labores de Inspección Rutinaria de la infraestructura de puentes se podrán incluir dentro de los Contratos de Conservación Integral o bien podrán ser realizadas por las Unidades de Conservación.

Dado que la Inspección Rutinaria de los puentes se podrá realizar a la par que el mantenimiento de la carretera de la que forma parte, y por el personal encargado de ello, se trata de utilizar sólo los medios normales previstos para esta actividad. Es decir, es necesario disponer de:

- Vehículos para acceder a la zona de ubicación de los puentes.
- Escalera manual de altura no superior a 6.00 m, para acceder a ver lugares altos.
- Cámara fotográfica digital para tomar fotos de los daños o deterioros.
- Cinta métrica para poder delimitar la extensión de los daños.
- Binoculares, para poder inspeccionar, sin medios auxiliares, el estado de zonas altas.
- Martillo, para comprobar la solidez de zonas aparentemente dañadas.
- Navaja, para comprobar si pueden o no desprenderse con facilidad trozos de material en zonas deterioradas.
- Bloc de notas, bolígrafo y ficha de inspección (también se puede utilizar una Tableta. PC).
- Elementos de señalización y seguridad personal (señales de desvío o corte de tráfico, chalecos reflectantes, etc.).

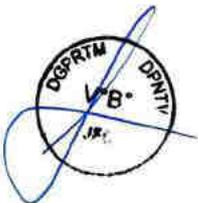




4.5.3 Alcance de la inspección

De un modo general, en las inspecciones rutinarias (básicas) se deben observar, al menos, los siguientes aspectos:

- **Banquetas y paseos:** roturas, presencia de vegetaciones, estado de las canalizaciones, etc.
- **Barreras de seguridad, barandas peatonales y sistemas de contención en general:** Verticalidad y alineamiento longitudinal, presencia de daños por impacto de vehículos, falta de elementos, falta de protección, presencia de corrosión, estado de los sistemas de fijación o anclajes, etc.
- **Cables, Péndolas y Anclajes:** Pérdida de sección y/o pernos en las conexiones, pérdida de sección de cables, corrosión en los elementos de anclaje, etc.
- **Calzada o plataforma del puente y sus accesos:** existencia de baches, roderas, falta de balasto o desplazamiento del mismo, asentamientos o desniveles en la vía, estado de los aparatos de dilatación, erosión de terraplenes, rotura de la losa de transición, asentamientos de las cuñas de suelos cemento, etc.
- **Cimentación:** erosiones y socavaciones apreciables, colapsos, desmoronamientos, etc.
- **Dispositivos de apoyo:** deformaciones de los aparatos de apoyo, desplazamiento o pérdida de asiento de los aparatos de apoyo, contaminación, fallas por aplastamiento, corrosión, deformación o distorsión de neoprenos, falta de verticalidad, falta de anclaje, etc.
- **Drenaje del tablero:** forma de evacuación de las aguas, estado de los sumideros, falta o insuficiencia de goterones, gárgolas, drenes, conexión con colectores, etc.
- **Elementos del Arco:** presencia de grietas en el arco, corrosión del acero estructural, pérdida de sección en los elementos, presencia de fisuras y/o fractura por fatiga, elementos fatigados, presencia de fisuras por fatiga en las uniones de las péndolas con los elementos del arco, o vigas de rigidez, problemas de pandeo local, vibraciones excesivas, pérdida de sección en conexiones, etc.
- **Estribos y pilares:** asentamientos diferenciales, socavación local a nivel de cimentación, presencia de grietas, exposición y corrosión de la armadura de refuerzo, desprendimiento del recubrimiento de concreto, eflorescencia, carbonatación del concreto, fractura en elementos de concreto, desplazamiento horizontal, humedad en los pilares y estribos debido a infiltración por las juntas de dilatación, etc.
- **Juntas de dilatación:** estado del revestimiento, limpieza, estanqueidad, aperturas excesivas o escasas, ruidos, elementos deteriorados o perdidos, zonas de anclajes sueltos, alineación y rasante con la carretera etc.
- **Parapetos, barandillas y sistemas de contención en general:** verticalidad y alineación longitudinal, choques, falta de elementos, falta de protección, corrosión (especialmente en zonas de vialidad Invernal), estado de los anclajes, etc.
- **Sistemas de contención:** pretilas, parapetos y barandillas: choques, falta de elementos, corrosiones, estados de los anclajes, falta de verticalidad y alineación incorrectas, etc.





- **Tablero y estructura portante:** deterioro, humedades, choques de vehículos, manchas, eflorescencias, estalactitas, fisuras, armaduras vistas, pérdidas de material (falta de piezas o pérdida de material de juntas en fábrica de piedra o ladrillo) meteorización, etc.
- **Veredas:** estado del revestimiento, presencia de vegetación, etc.
- **Vigas y elementos portantes:** Presencia de grietas, pérdida de recubrimiento en elementos de concreto, exposición de la armadura de refuerzo, carbonatación del concreto, pérdida de sección en vigas metálicas, corrosión de elementos de acero estructural, etc.
- **Zonas de apoyo:** deformaciones de los aparatos de apoyo, recorrido de los aparatos de apoyo drenaje, limpieza, estado del murete de guarda, coronaciones de pilas, presencia de vegetación.

Dentro de este reconocimiento, uno de los aspectos más importantes a inspeccionar es el estado de limpieza y funcionamiento de los sistemas de desagüe, pues un incorrecto funcionamiento de los mismos da lugar a concentraciones y acumulaciones de humedad que pueden ser origen de serios problemas estructurales. Estos aspectos adquieren aún más relevancia en zonas o itinerarios afectados por problemas de vialidad invernal, así como en aquellos con ambiente agresivo.

4.5.4 Procedimientos para la inspección

El especialista encargado de efectuar el análisis en campo debe inspeccionar de forma completa la estructura, comenzando por una revisión del estado de la plataforma o calzada, mirando el estado en que se encuentran en su caso el pavimento o la superestructura de la vía, tanto en los accesos como en el propio puente, a la vez que se revisa el estado de las juntas, sumideros, etc.

Esta revisión se completa, cuando existen, con la supervisión del estado de las banquetas o paseos y de los elementos que se encuentren en ellos, como barreras de contención, barandillas, etc.

También se debe supervisar el estado de los terraplenes de los accesos, y en caso de que la estructura salve un cauce, el estado del mismo en las inmediaciones de las obras y en su encuentro con la misma.

La revisión de la parte superior se complementa con la de ambos lados del puente, bajando, si es posible, a la zona inferior del mismo para realizar una inspección del estado de los estribos y pilas por ambos lados de la estructura. En esta revisión es de especial interés determinar el estado de los aparatos de apoyo, así como de las elevaciones y cimientos de los estribos y pilas.

En cualquier caso, es conveniente seguir el sistema indicado, más adelante, para las Inspecciones Principales en cuanto a cómo recorrer completamente la estructura para su inspección.

4.5.5 Registro de datos

El profesional encargado de realizar la inspección rutinaria debe recoger una serie de datos:

- a) Datos de la obra de paso.
- b) Datos generales de la inspección.
- c) Deterioros observados.





A continuación, se describe con más detalle las características de estos datos, para puentes de carretera:

a) Datos de la obra de paso

En esta ficha se registra la información general que permite identificar la estructura a inspeccionar.

Sólo se rellena en la primera inspección rutinaria que se realiza, y se comprueban en su caso los del Inventario, confirmando los datos en las siguientes o indicando los posibles cambios sufridos: ensanches, ampliaciones, modificaciones, etc.

Código: indica la carretera a la que pertenece la obra de paso y el Punto Kilométrico (P.K.) en el que está, de esta forma se sabe la localización exacta de la misma.

Denominación: es el nombre que se le asigna a las obras de paso, comienza con las palabras puente, pontón, alcantarilla, paso peatonal inferior, falso túnel o pasarela peatonal, e incluye también el obstáculo que salva (río, arroyo, ferrocarril, etc.) y el P.K. de la carretera al que pertenece la estructura. Si fuera un Puente o Viaducto con nombre especial, esa es su denominación. Si se trata de dos estructuras paralelas en una autopista se indica el sentido de circulación. También se registra si el puente pertenece a un ramal o vía de servicio.

Otros datos que deben ser registrados son el nombre de la carretera que cruza sobre la obra de paso, el de la carretera que pasa bajo la obra, y el de la carretera a la que pertenece dicha obra. Los puentes pertenecen a la carretera que soportan, excepto las pasarelas peatonales, pasos superiores de caminos y pasos de fauna que pertenecen a la carretera sobre la que cruzan.

También se recogen en la ficha las poblaciones anteriores y posteriores, las coordenadas UTM medidas con un GPS, la tipología tanto de la obra original como de los ensanches, el material característico (concreto, metálico, mixto, fábrica de sillería, ladrillo y mampostería), el número de claros, la longitud de la distancia entre juntas de estribos, el ancho o distancia horizontal entre los bordes exteriores de la plataforma.

Para completar la información se incluyen fotografías de los alzados laterales, una vista superior de la plataforma y una vista inferior de la misma.

b) Datos generales de la Inspección

Se recogen los datos de la inspección como la fecha en que se realiza, el nombre de la Empresa que la lleva a cabo, el nombre y la firma de la persona que la hace, nombre y firma de la persona que la revisa.

Puede completarse con observaciones generales sobre cualquier aspecto que el inspector quiera remarcar, y en caso de que no se pueda realizar la inspección de algún elemento importante como pilas, estribos o claros se marcará como "básica incompleta", aunque esto debe ser excepcional.

c) Deterioros observados

Los deterioros que pueden detectarse en estas inspecciones sin utilizar elementos auxiliares son del tipo:

- Daños en elementos de la plataforma: pavimento, banquetas, bordillos, pretiles, barreras, barandillas. Es muy importante detectar corrosiones en los anclajes de los elementos de contención metálicos, especialmente en zonas de nevadas donde se utilizan sales fundentes.





- Daños graves en aparatos de apoyo.
- Daños en juntas de dilatación.
- Deterioros y situaciones graves en elementos del puente, como impactos en vigas, superestructuras, pilas o estribos, daños producidos por avenidas, etc.
- Obstrucciones y funcionamiento defectuoso del sistema de desagüe.
- Deterioro de la señalización, balizamiento y defensas.
- Fallos en la iluminación.
- Defectos en los accesos a la obra en las losas de transición o las cuñas.
- Deterioros en los terraplenes de acceso.
- Conducciones, cables y servicios adicionales, etc.
- En los puentes sobre cauces es muy importante inspeccionar las cimentaciones de pilas y estribos para detectar descalces o socavaciones o posibles enterramientos que puedan obstruir el cauce, así como la presencia de vegetación acumulada en la base de las pilas.
- Se debe registrar también la presencia de pinturas, carteles de publicidad, vertido de escombros, basura, sustancias inflamables, etc.

Para las inspecciones los especialistas podrán diseñar sus propias fichas adicionales para la recopilación de daños, estas fichas podrán abarcar estos temas.



Elementos estructurales:

✓ **Superestructura:**

- Tableros sobre pilas y estribos.
- Arco.
- Bóveda.
- Marco – Tubo.
- Otras tipologías.

✓ **Subestructura:**

- Estribos / Hastiales.
- Pilas / Pilote.



Elementos de conexión:

- Juntas de dilatación.
- Aparatos de apoyo.



Elementos no estructurales:

✓ **Organización de la plataforma:**

- Pavimentos / Accesos a la estructura.
- Banquetas.
- Barandilla / Barrera / Pretiles / Impostas.
- Sistema de desagüe.



- Iluminación.
- Señalización.
- Cauce.
- Terraplén / Revestimientos.
- Otros.

4.6 INSPECCIÓN PRINCIPAL

4.6.1 Definición

Tiene como objetivo efectuar una inspección visual minuciosa del estado de todos los componentes del puente (vigas, losas, pilares, estribos, arcos, torres, dispositivos de apoyo, superficie de rodadura, etc.), a fin de proporcionar una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida. En esta etapa se identifican a los puentes que requieren inspecciones especiales, estudios especializados y/o intervenciones mayores (reforzamiento o rehabilitación). El estado general se basa en la calificación del componente "puente", el cual se obtiene de la mayor calificación de los componentes clasificados como estructurales.

En esta etapa de diagnóstico y/o evaluación no se requieren la utilización de medios especiales, las actividades serán efectuadas por un equipo de personal especializado bajo la supervisión de un ingeniero con conocimiento pleno de la ingeniería de puentes.

Es recomendable realizar una inspección principal inicial del puente, denominada comúnmente Inspección cero, previamente a su puesta en servicio, dado que permitirá tener referencias para identificar o monitorear la evolución de cualquier daño y/o deterioros.

Un tipo particular de inspección principal es la denominada inspección detallada; en ambos tipos de inspección se obtiene el mismo tipo de datos que, se describen en esta Guía y ambas son de carácter visual (no se realizan ensayos, cálculos, estudios, etc.), siendo las principales diferencias entre ambas las siguientes:

- 1) En lugar de planificar grandes campañas de inspección, las Inspecciones Detalladas se deben aplicar a un conjunto relativamente pequeño de puentes con unas características particulares: estructuras de grandes dimensiones y con un elevado porcentaje de elementos sin inspeccionar tras una inspección sin medios de acceso especiales, estructuras con elementos singulares sin acceso visual directo (grandes cajones para realizar la inspección en el interior de los mismos, pilone de un puente atirantado), etc.
- 2) Requiere el uso de medios de acceso extraordinarios (pasarela de inspección de puentes, camión grúa con canastilla, barca, etc.) que garanticen la posibilidad de «Inspección de todas las partes visibles».

A diferencia de las Inspecciones Especiales, en las inspecciones de detalle no se realizan ensayos ni mediciones complementarias, ni se realizan proyectos de reparación. El resultado de esta inspección es un informe de evaluación de la estructura, de carácter visual, y la marca de condición del puente.

Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal inspector a las distintas partes de la estructura para realizar una Inspección detallada pueden incluirse los recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 13. Medios auxiliares habituales en las inspecciones detalladas

*(Válidos también en el caso de una inspección especial)*

Sistema	Medios auxiliares habituales	Limitaciones
Operando debajo del puente	Plataformas elevadoras, grúas con canastilla	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de pilas, accesibilidad y disponibilidad de uso de la zona bajo el puente (cursos de agua, vías de comunicación, etc.). • Condiciones atmosféricas (viento).
Operando sobre el tablero	Pasarelas, canastillas articuladas	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones del tablero (anchura total y de veredas, cantos), existencia de elementos condicionantes sobre la plataforma (Péndolas, tirantes, farolas, barreras antirruído), restricciones al tráfico sobre el puente. • Condiciones atmosféricas (viento).
Operando desde cualquier punto	Equipos de trabajo en altura	<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones eléctricas. • Condiciones atmosféricas (viento).
Operando desde el curso de agua	Barcas, pontones, equipos de buceo	Velocidad del curso de agua, visibilidad del cimiento, turbiedad del agua.
Integrados en la estructura	Pasos de hombre (acceso a pilas huecas y vigas cajón), escaleras, anclajes para sujeción de andamios o plataformas	Necesidad de previsión en proyecto, aplicables sólo a ciertas tipologías.

4.6.2 Objetivo

El objeto de la inspección principal, es la obtención de datos sobre los deterioros existentes en los diferentes elementos que constituyen el puente, de forma sistemática y ordenada. Evaluando cualitativa y cuantitativamente los deterioros observados, para determinar el estado de conservación del puente y analizar el estado funcional y resistente de un puente a fin de verificar que en las condiciones en las que se encuentra es capaz de cumplir con los requerimientos de funcionalidad y con un nivel de seguridad aceptable.

4.6.3 Características

Una Inspección Principal debe tener las siguientes características:

- ✓ Objetiva → debe ser independiente del inspector que la realice.
- ✓ Homogénea → la toma de datos debe ser uniforme.
- ✓ Comparable → debe permitir la ordenación de prioridades.
- ✓ Fiable → debe permitir la detección de todos los deterioros.

Previamente a la realización de la inspección propiamente dicha, debe llevarse a cabo una planificación de la misma que debe al menos comprender:

- ✓ Recojo de la documentación existente sobre el puente acerca de su inventario y de actuaciones sobre el puente posteriores a su construcción (inspecciones precedentes, operaciones de mantenimiento, reparaciones).
- ✓ La recopilación de documentación relativa al proyecto (de construcción, reformado, de liquidación, etc.) suele reservarse para las Inspecciones Especiales.
- ✓ Estudio de la documentación conseguida y preparación de las Fichas de Inspección, estas fichas deberán ser específicas y diferentes para los distintos tipos de elementos existentes en el puente. Se recomienda su preparación previa a los trabajos de campo, para formar en cada caso el conjunto completo de las



fichas de inspección de un puente.

- ✓ Análisis y preparación es necesario emplear en muchos casos pequeños medios de acceso como una escalera de mano, para poder acceder a los apoyos, o un arnés que permita el descenso seguro por un terraplén.

En las Inspecciones Principales de puentes de carreteras, se recomienda que el intervalo medio entre dos inspecciones principales sea de cinco años, pudiendo ser menor en función de la posible existencia de anomalías detectadas en inspecciones precedentes y de lo especificado en la Gestión en cuanto a las frecuencias de inspección. Considerando la experiencia internacional avala esta periodicidad del tipo, teniendo en cuenta la velocidad en la evolución de los deterioros y el cambio climático.

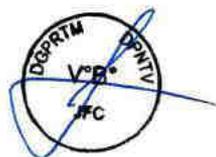
La periodicidad se deberá indicar en el Plan de mantenimiento del puente, documento que será cada vez más común para cada puente, para estructuras de nueva construcción. El plan deberá ser desarrollado por cada entidad encargada de la gestión y administración de la vía.

Se recomienda también realizar nivelaciones en cada inspección principal para determinar los movimientos del tablero del puente y compararlos con los de las inspecciones precedentes, teniendo en cuenta los posibles efectos climáticos. Para ello habría que prever la instalación, en el puente y fuera de él, de puntos de referencia o marcas indestructibles a las que referirse en sucesivas nivelaciones.

También se recomienda efectuar las mediciones para comprobar las características geométricas del puente, posibles desplomes de pilas, distancias entre paramentos frontales de estribos, etc.

Los datos recogidos en la inspección son los siguientes:

1. Información general relativa a la inspección efectuada (estructura inspeccionada, fecha en la que se realiza la inspección, personal que la realiza, cortes y medios de acceso utilizados en la inspección, condiciones climatológicas en las que se ha realizado la inspección, incidencias acaecidas durante la misma y comentarios del inspector, etc.).
2. Fotografías generales de la inspección. Desde el punto de vista del mantenimiento, deben aportarse fotos de ambas elevaciones, de la entrada al puente por la plataforma desde ambos extremos y una vista.
3. Información del estado de conservación de los distintos elementos de la estructura determinado por la inspección. En cada ficha se recogen los elementos más característicos que corresponden a la tipología y parte del puente (tableros, pilas, estribos, etc.), indicándose para cada uno de ellos los daños apreciados y la medición de los mismos. Estos daños no sólo dependen del tipo de elemento, sino también de entre otros del material con el que esté construido.
4. Fotografías ilustrativas de los deterioros, especialmente de los más relevantes. Estas fotografías deberán tomarse desde una distancia adecuada que permita dejar constancia de la escala del deterioro en relación al elemento donde éste se manifiesta. En los casos en los cuales esto no sea posible, se aconseja tomar dos fotografías, una que muestre la escala y otra de detalle del deterioro.
5. Fichas de resultados de la inspección, que quedan incluidas en la base de datos, de manera que el acceso a las mismas se realiza de manera rápida y sencilla. La impresión de las mismas se realice automáticamente empleando programas





comerciales u otros, a los que se exporta un informe con las fichas ya preparadas para su visualización.

La entrada de la información se realiza mediante selección entre opciones predefinidas, en función del elemento y material del mismo. Los daños posibles sobre cada elemento y material se encuentran recogidos en diferentes carpetas de la base de datos.

4.6.4 Alcance

El alcance de estas inspecciones es más profundo que las inspecciones rutinarias y/o básicas, aunque siguen siendo inspecciones visuales sin la utilización de medios auxiliares que permitan revisar de forma detallada las estructuras, son inspecciones más fiables porque son realizadas por personal especializado.

En el caso de puentes de carreteras dependientes de la entidad administradora de la vía, la periodicidad de estas Inspecciones es de cinco años, aunque puede este plazo ser reducido como consecuencia de algún tipo de situación imprevista: inundaciones, terremotos, choque o impactos de vehículos, etc., o también por ser requerida una inspección de este tipo a partir de alguna Inspección Básica.

La primera Inspección Principal se realiza antes de la puesta en servicio del Puente, en general coincide con la ejecución de la preceptiva Prueba de Carga que se realiza en las estructuras. Esta primera inspección sirve de referencia para las sucesivas inspecciones, ya que permite conocer el momento y la evolución de los deterioros o daños.

En la Tabla 14 se muestra el resumen metodológico de la inspección principal implementada en cada uno de los puentes diagnosticados.

Tabla 14. Resumen metodológico de la inspección principal (Muñoz, E. et al., 2004)

(a) Recopilación de informaciones existentes (inspecciones anteriores, inventario, reparaciones, antecedentes, etc.)			
(b) Visita al puente			
Se registra:	Componentes	Escala de calificación	Tipos de daño/
<ul style="list-style-type: none"> - La condición general del puente y sus componentes - El tipo y extensión del daño - La necesidad de reparaciones y/o inspecciones especiales - La necesidad de mantenimiento y/o limpieza <p>Equipo mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cámara, carpeta, chaleco reflector, grietómetro, binoculares, cita, cepillo, cinturón de seguridad, etc. 	<p>Funcionales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie del puente - Juntas de expansión - Andenes y bordillos - Barandas - Conos/taludes - Otros elementos/ <p>Estructurales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aletas - Estribos - Pilas - Apoyos - Losa - Vigas/largueros/diafragmas - Elementos de arco - Cables, pendolones, etc. - Elementos de armadura - Cauce 	<ul style="list-style-type: none"> 0. Sin daño o con daño insignificante 1. Daño pequeño, pero no se requiere reparación 2. Existe daño, el componente funciona como se diseñó 3. Daño significativo, se requiere pronta reparación 4. Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente 5. Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño estructural - Vibración excesiva - Impacto - Asentamiento o movimiento - Erosión y socavación - Corrosión acero estructural - Falta de remaches y/o pernos - Daño del concreto/corrosión refuerzo - Daño del concreto y acero expuesto - Descomposición - Infiltración - Otro
BASE DE DATOS			
Necesidad de reparaciones y mantenimiento	Calificación del puente y año de la próxima inspección		Necesidad de inspección especial





4.6.5 Medios necesarios para la inspección principal

Personal y medios

Son inspecciones realizadas por equipos técnicos con conocimientos suficientes para realizar estos trabajos y que además son supervisados por un Ingeniero especialista en estructuras.

Este personal debe poder saber que tiene que ver e interpretar lo que ha visto, para ello es necesario:

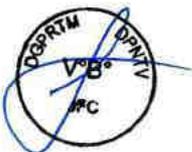
- Poseer conocimientos sobre el funcionamiento estructural de los puentes, sobre los distintos materiales de construcción y de los procedimientos constructivos empleados en estas obras.
- Contar con experiencia en los procesos de degradación y deterioro de las estructuras.
- Disponer de la información necesaria para preparar adecuadamente la inspección (proyecto, informes de inspecciones precedentes, anexos geotécnicos u otros datos).

Disponiendo de estas habilidades y recursos, el personal deberá:

- Poder ver: es decir tener acceso a todos los elementos que se requiere inspeccionar.
- Saber ver: para ello se requieren sus conocimientos y experiencia.
- Saber lo que se quiere ver: estudiando previamente la información disponible para focalizar la inspección en los puntos o zonas de importante y probable deterioro o daño.

El material utilizado para realizar este trabajo será:

- Un vehículo, para acceder al lugar de construcción de la estructura.
- Una computadora portátil, para registrar in situ los datos en formato digital.
- Una cámara fotográfica digital, para tomar fotografías de los daños.
- Un GPS, para confirmar la ubicación o situar la estructura.
- Un cuaderno y bolígrafo, para la toma de datos.
- Una cinta métrica y distanciómetro, para realizar mediciones de los elementos o de la extensión de los deterioros.
- Unas pinturas de colores, para indicar daños o zonas con deterioros.
- Una escalera manual, para acceder a zonas altas.
- Una navaja, un martillo, un espejo y una lupa, para comprobar la solidez de los materiales, poder visualizar zonas ocultas o ampliar la visión de algunos daños (fisuras).
- Unos binoculares y una linterna, para poder acceder a ver zonas lejanas (por ejemplo, por estar muy altas) o zonas poco iluminadas.
- Unas botas de agua, para poder acceder a zonas encharcadas o con agua.





- Un fisurómetro o plantilla de medición de fisuras, para poder determinar las aperturas de fisuras.
- Equipos de seguridad personal (chalecos reflectantes) y de señalización (conos, carteles, etc.), para evitar accidentes durante la realización de los trabajos.

4.6.6 Procedimiento de realización de la inspección

Antes de realizar las Inspecciones Principales se debe planificar y programar las salidas al campo, procediéndose a recabar todos los datos necesarios y disponibles para conocer de la forma más detallada posible la estructura a inspeccionar y su historia.

Entre estos datos, se encuentran:

- Proyecto de la estructura ("as built" si es posible).
- Otros documentos de su construcción (registros de calidades, prueba de carga, etc.).
- Fichas de inventario.
- Fichas de Inspecciones Básicas.
- Fichas de Inspecciones Principales anteriores.
- Fichas de Inspecciones Especiales (si las hubiere)
- Proyectos de Reparación, refuerzo o rehabilitación (si fuera el caso).

También conviene preparar libretas de campo (con las fichas) para registrar de forma más rápida y segura los datos durante la inspección.

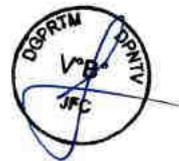
La Inspección Principal requiere una operativa sistemática para evitar errores u omisiones se llevándose a cabo mediante una revisión visual de la obra en tres fases:

1) Inspección perimetral inferior de los paramentos verticales de estribos y de las caras laterales de la superestructura: consiste en la inspección de todos los elementos del contorno de la estructura, es decir: aleros, estribos, revestimientos o terraplenes y caras laterales de la superestructura. Se realizará desde debajo de la superestructura, estudiando detalladamente cada elemento lo más cerca posible, sin pasar al siguiente antes de haber terminado con el actual.

Se comenzará por el alero E-1 Derecha, y se realizará una inspección detallada de los siguientes elementos, en el orden indicado:

- Alero E1 derecha y su terraplén.
- Muro de frente E1, apoyos, y revestimiento o terraplén.
- Alero E1 izquierda y terraplén.
- Cara lateral de la superestructura entre Alero E1 izquierda y Alero E2 izquierda.
- Alero E2 izquierda y su terraplén.
- Muro de frente E2, apoyos, y revestimiento o terraplén.
- Alero E2 derecha y su terraplén.
- Cara lateral de la superestructura entre Alero E2 derecha y Alero E1 derecha.

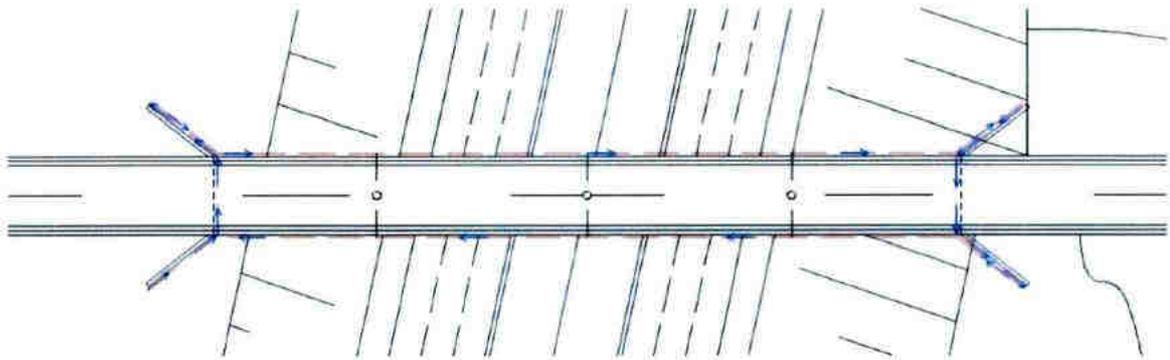
Todos los detalles que se observen se anotarán en un cuaderno o en las fichas directamente.





Esta primera etapa consiste en una inspección a lo largo del contorno de la estructura, realizada «debajo» del tablero.

Figura 20. Inspección perimetral inferior.

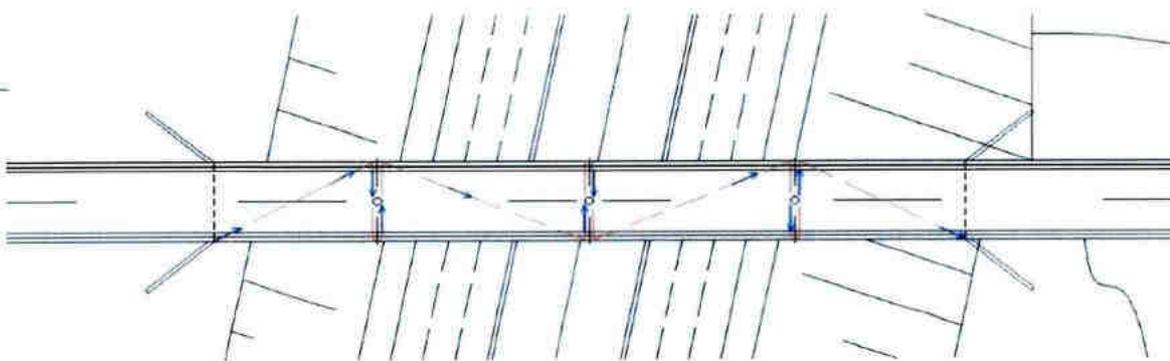


2) Inspección en zig-zag desde debajo de la superestructura: tras la inspección del contorno, se realizará la inspección de las pilas y la cara inferior de la superestructura, también de forma detallada y anotando todos los defectos, daños o incidencias en un cuaderno o en las fichas directamente.

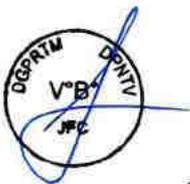
- El procedimiento alternará la inspección de un claro con el de una pila, según se indica a continuación:
- Claro entre estribo E1 y pila P1.
- Pila P1 y apoyos.
- Claro entre pilas P1 y P2.
- Pila P2 y apoyos.
- Pila Pn y estribo E2.

Se prosigue de esta forma hasta finalizar en el vano del tablero entre la pila Pn y el estribo E2.

Figura 21. Inspección en «zig-zag» inferior.



En el caso de grandes puentes o viaductos, esta inspección se realizará con la ayuda de medios auxiliares.





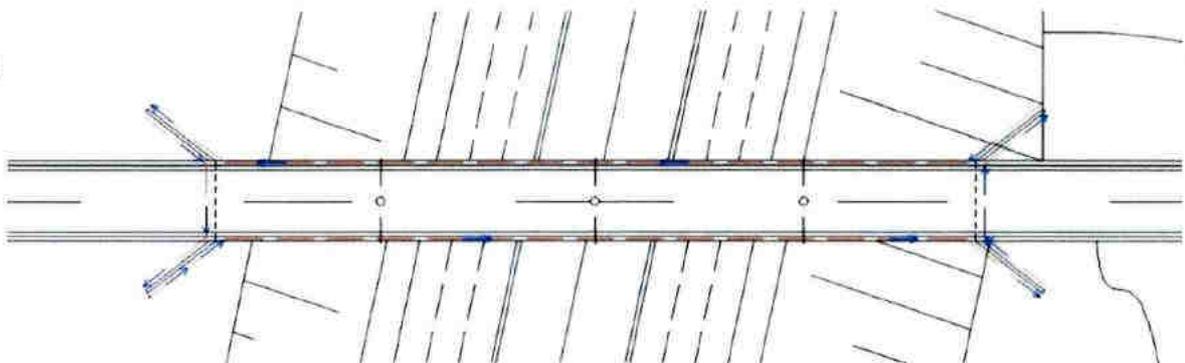
3) Inspección perimetral de la zona superior de la superestructura: terminada la inspección de la zona inferior del puente, se ascenderá a la cara superior de la superestructura para realizar su inspección, que consistirá en observar el estado del pavimento, las juntas de dilatación, las barreras y barandillas, losas de transición, banquetas, imbornales, dispositivos de seguridad, señalización horizontal y vertical, pórticos, y báculos o luminarias.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Alero E1 derecha.
- Vereda derecha, pavimento adyacente y juntas en pilas.
- Alero E2 derecha.
- Junta E2.
- Alero E2 izquierda.
- Vereda izquierda, pavimento adyacente y juntas en pilas.
- Alero E1 izquierda.
- Junta E1.
- Alero E1 derecha.

Se realizarán las anotaciones necesarias como se ha indicado en los puntos anteriores.

Figura 22. Inspección de la cara superior del tablero y equipamientos.



Existirán casos en los que la inspección no podrá desarrollarse según el esquema propuesto, debido a la existencia de obstáculos como son ríos u otras irregularidades del terreno o por la tipología de la estructura a inspeccionar, en este caso se adaptará la metodología anterior a la realidad existente.

La inspección de los distintos elementos permite determinar el estado de conservación de los mismos, evaluando de la siguiente forma nos permite tener orden para la detección de los daños más habituales:

- Cimiento.
- Subestructura: incluye pilas, estribos y aparatos de apoyo.
- Superestructura: comprende elementos portantes principales y secundarios.
- Equipamientos: juntas, impermeabilización de la superestructura, pavimento, sistema de drenaje, barandillas y dispositivos de contención, banquetas, etc.



4.6.6.1 Inspecciones de cimientos

En ausencia de agua o con niveles de agua de poca profundidad es posible realizar la inspección, si los cimientos afloran y el estado de los mismos, e incluso llegar a conocer si se trata de cimentaciones superficiales o profundas.

Las mayores anomalías de los cimientos se producen por asentamientos imprevistos, en caso de producirse asentamientos diferenciales (distintos en unas zonas que en otras) esto puede producir serios daños a las estructuras. Muchas veces estos asentamientos se producen por la socavación del terreno en que apoyan los cimientos.

Algunos de los desperfectos más típicos en la cimentación son: la disolución de la cal que conduce a disgregación de macizos de cal, abrasión de pilotes de madera o de piedras blandas, choques, dislocación de la mampostería debido al enraizamiento de vegetación, alteración química por aguas agresivas de cales, cementos, elementos de madera o metálicos, alteraciones biológicas de pilotes de madera en zonas próximas al mar.

En el terreno de cimentación los deterioros más frecuentes son: la formación de cavidades y descompresión del terreno de cimentación por socavación. En los terraplenes de acceso se producen erosiones debido al fallo del sistema de drenaje, torrenteras, etc., mientras que en el pie del talud es frecuente la presencia de socavaciones.

En el caso de cimientos bajo el agua, es necesario realizar inspecciones subacuáticas, las que deben ser llevadas a cabo por equipos de submarinistas con conocimiento y experiencia en la revisión del estado de cimientos de estructuras. Con estas inspecciones se pueden detectar deterioros tanto de la propia estructura del cimiento (degradación del material, pérdida del mismo, etc.), como también principios de socavación o pérdida de estabilidad de los cimientos.

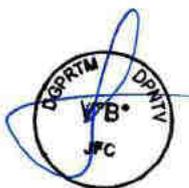
Estos equipos de buceadores deben además de inspeccionar los cimientos evaluar el estado del cauce en las inmediaciones del puente: perfil del lecho, dirección de las corrientes de agua, naturaleza de los materiales del fondo, y cualquier otra anomalía que pueda afectar al puente.

4.6.6.2 Inspecciones de subestructura

En los estribos es frecuente encontrar asentamientos de los cimientos que se manifiestan con grietas en los muros, fisuraciones que se producen por retracción, temperatura, incorrecto funcionamiento estructural, infiltraciones de finos por grietas, eflorescencias, ataques superficiales a sillares, vegetación enraizada, erosiones en los arranques, obstrucción de ductos y drenajes, desplomes en muros laterales, movimientos de juntas entre muros, etc.

En Pilas es habitual que se produzcan deterioros como las fisuras verticales por asentamiento diferencial, grietas entre tajamares (construcción curva que se añade a los pilares de los puentes para dividir en dos la corriente de los ríos) y pilas en puentes tipo bóveda, fisuras por cargas concentradas en apoyos, daños por impactos del tráfico, desprendimientos, descalces por erosión, corrosión de armaduras, etc.

En los aparatos de apoyo, se producen deterioros por la degradación de los materiales que los conforman, corrosión de partes metálicas, fallos en el sistema de anclaje, deformaciones excesivas, bloqueos, etc.





4.6.6.3 Inspecciones de superestructura

En el caso de puentes metálicos, son frecuentes dos tipos de anomalías, las originadas por defectos estructurales y las provocadas por deterioro del material.

Entre las primeras se encuentran: excentricidades no deseables, modificaciones o reparaciones incorrectamente realizadas anteriormente, ausencia y roturas de componentes, deformaciones o mermas de secciones resistentes, carencia de rigidizadores, deformaciones localizadas por impactos y choques, etc.

En cuanto a las producidas por el deterioro del material destaca la corrosión. Se debe prestar atención al estado de la pintura (saltada o cuarteada) de protección, así como a la pérdida de espesores de los elementos debido a la corrosión.

En las inspecciones deben ser revisadas con especial atención las uniones de los elementos principales, así como el espacio disponible en las juntas, y las posibles vibraciones de este tipo de superestructuras.

En los puentes de concreto son habituales los deterioros producidos por dos fenómenos: corrosión y fisuración, ambos ligados entre sí.

En el caso de la corrosión, esta se produce por falta de compacidad del concreto o por débil espesor del recubrimiento de las armaduras o por ambientes agresivos, etc.

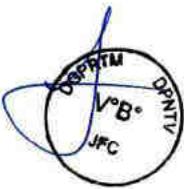
Mientras que la fisuración se produce a partir de la corrosión, de la falta de resistencia a tracción del concreto, de los escasos recubrimientos, de las bajas cuantías de armaduras, mala ejecución durante la construcción, etc. También puede producirse una fisuración no deseada o excesiva por retracción, ciclos congelación - deshielo, reacción álcali - árido, carbonatación, fluencia, sollicitaciones estructurales elevadas y fallos de adherencia entre el acero y el concreto.

En las inspecciones debe prestarse atención además de los mencionados problemas de corrosión y fisuración, a las excesivas deformaciones que pudieran tener los elementos. En el caso de estructuras con superestructura hueca y siempre que se pueda acceder a su interior, debe ser inspeccionado el mismo (revisando las zonas de anclajes de los cables postensados, los sistemas de desagüe, las zonas de junta y de apoyos).

En los puentes prefabricados (piedra, ladrillo u concreto en masa) suelen producirse fisuraciones y grietas, que se localizan habitualmente en el intradós (superficie interior visible de un arco o bóveda) y respaldo de la bóveda o arco y pueden ser longitudinales, transversales u oblicuas. Es importante registrar la asimetría o simetría de las fisuras que se producen, ya que esta información es importante para poder establecer las causas por las que se haya producido dicho deterioro.

También pueden producirse hundimientos o desplazamientos de las dovelas, filtraciones y eflorescencias, alteraciones de los paramentos por depósito de sales (en piedras y ladrillos), humedades, formación de musgos, desconchones y pérdidas del material de las juntas.

Además, se suelen producir fisuras en los tímpanos, impostas y en los pretiles de estas obras debido a dilataciones y contracciones producidas por cambios de temperatura. Otro lugar en el que es frecuente encontrar deterioros es en la unión entre los tajamares y las pilas o estribos.





Como en todos los casos, en esta tipología es también necesario revisar el correcto funcionamiento de los sistemas de drenaje, para comprobar si los mismos funcionan correctamente.

4.6.6.4 Inspecciones de los equipamientos

En las calzadas y banquetas se suelen producir grietas y deformaciones en el pavimento, roderas, desgaste del pavimento, fallo de adherencia entre estructura y pavimento, baches y daños en los bordillos.

En las juntas de dilatación los defectos más habituales son despegues y fallos en el sistema de anclaje, defectos de funcionamiento (impedimento de movimientos), falta de plenitud de la junta a ambos lados de la misma, fisuración y degradación del pavimento adyacente a la junta, materiales deteriorados (acero, neopreno o teflón) e incluso la falta de juntas en lugares en que debería existir.

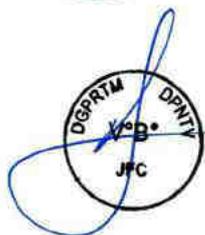
En cuanto al sistema de drenaje pueden encontrarse fallas como la total ausencia de dicho sistema, la falta de pendiente transversal del pavimento para poder evacuar las aguas, atascos y obstrucciones de rejillas y drenes, fallos en los conductos de evacuación, fallos en la estanquidad (manchas, humedades, fugas, etc.), longitud inadecuada de los tubos que origina que el agua manche los elementos del puente, y finalmente la falta de cunetas y recolector en los terraplenes de acceso.

En cuanto a los elementos de seguridad (barreras de contención, barandillas, etc.) los deterioros más frecuentes son la rotura o defectos de los elementos, falta de pintura, corrosiones, falta parcial o total de estos elementos y mal estado por roturas o abolladuras. También este tema afecta al mal estado de la señalización, las marcas en la vialidad, ausencia de balizamiento, de iluminación, conducciones eléctricas en mal estado, los sistemas de fijación o anclaje de los elementos, etc.

4.6.6.5 Registro de datos

Como resultado de la Inspección principal se obtiene únicamente unas anotaciones que se registran en unos formularios tipo, utilizando unas fichas, que posteriormente permiten trasladar de una forma homogénea los datos al programa informático del Sistema de Gestión. Estas fichas, permiten registrar:

- Datos generales: los del puente y los de la inspección.
- Deterioros: de cada elemento, indicando un código de deterioro, la identificación del elemento, el material tipo, el tipo de deterioro, la causa del mismo, el grado de deterioro, la extensión y la situación del mismos. el código. También se registran las marcas de condición, la medición del deterioro, la accesibilidad y la existencia de fotos del mismo.
- Condición: se resumen para cada elemento las marcas de condición y se indica en cada caso el deterioro del mismo.
- Recomendaciones: en caso de ser necesario se indican las mismas.
- Conservación: se indica el estado de conservación de los diversos elementos, si es correcta o incorrecta.
- Recomendaciones urgentes: en caso de ser necesario se indican las mismas.
- Observaciones: en caso de ser necesario se indican las mismas.





4.7 INSPECCIÓN ESPECIAL

4.7.1 Definición

Las Inspecciones Especiales, a diferencia del resto, no se realizan sistemáticamente o con carácter periódico, sino que surgen, generalmente, como consecuencia de los daños detectados en una Inspección Principal o, excepcionalmente, como consecuencia de una situación singular (como por ejemplo impactos de vehículos, daños por inundaciones o cualquier otro desastre natural, etc.). Necesariamente implican la presencia de técnicos y equipos especiales.

Este tipo de inspecciones consisten en efectuar auscultaciones profundas en la estructura incluyendo ensayos especializados de campo y en laboratorio, recomendados por la inspección principal cuando existe incertidumbre sobre la causa de los daños encontrados. Este tipo de inspección permite determinar el tipo de daño presente en los diferentes componentes estructurales del puente, su extensión y su causa. Es una parte fundamental para el diseño y rehabilitación del componente.

Para esta etapa, el equipo de inspección debe elaborar un plan para las actividades de inspección, detallando los aspectos a estudiar, los medios y procedimientos técnicos a emplear.

a) Planeación Primaria

Información Existente

Planos

Memorias de Calculo

Antecedentes de mantenimiento y rehabilitación

b) Planeamiento detallado

Selección de los tipos y/o métodos de prueba

Numero de Ensayos

Ensayos Complementarios

Recursos humanos y físicos

c) Ejecución de Ensayos

Desarrollado conforme al plan, sin dar opinión de resultados hasta que sean evaluados en detalle en gabinete.

d) Evaluación de daños, causas y extensión

Debe ser realizado por ingenieros experimentados con alto conocimiento en los mecanismos de daño y los métodos de ensayos. Después de terminar los ensayos se hace una nueva inspección principal, con el objeto de actualizar datos.

e) Estrategias de Solución

Basadas en los resultados de las pruebas y el análisis realizado en gabinete se sugieren los siguientes tipos de propuestas:

Reparación completa

Reparación provisional

Ninguna obra, esperando una reconstrucción mayor o remplazo total.





Debe incluir el año óptimo de reparación, la situación del tráfico, el costo estimado de reparación y el costo del mantenimiento.

f) Análisis Económico

Evaluación Costo – Beneficio para seleccionar la estrategia óptima. La evaluación económica de una estrategia incluye:

El costo directo de los trabajos de reparación

El costo inducido al usuario de la vía

Se sugiere utilizar el método del valor presente

g) Informes

Resumen

Motivo

Registro

Evaluación de los Registros

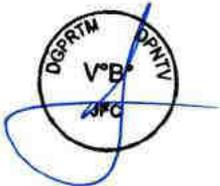
Estrategias de reparación relevantes, incluyendo costos estimados

Recomendaciones

El Manual de Evaluación de Puentes de los estados unidos (AASHTO recomienda diferentes ensayos no destructivos y semidestructivos para estructuras de puentes de concreto y acero.

Algunos ejemplos de ensayos específicos son:

- Análisis geotécnico del terreno con la extracción de muestras.
- Evaluación de la resistencia del hormigón mediante la extracción de probetas testigo.
- Ensayos esclerométricos.
- Mapas de sales.
- Ensayos de ultrasonidos.
- Evaluación de las características del acero mediante ensayos de tracción.
- Determinación de la situación de las barras de armado mediante equipos electromagnéticos.
- Medidas de potencial eléctrico para determinar el estado de corrosión de las armaduras.
- Análisis químico del hormigón para detectar posibles causas de ataques sobre la pasta de cemento o los áridos.
- Contenido de iones cloro u otros en el hormigón que hayan podido favorecer la corrosión de las armaduras.
- Determinación de la profundidad de carbonatación.
- Análisis de soldaduras mediante líquidos penetrantes o gammagrafía.





4.7.2 Objetivo

El objetivo consiste en la auscultación profunda, desarrollada mediante ensayos no destructivos y semidestructivos, de los daños detectados en los componentes del puente.

4.7.3 Alcance

Estas Inspecciones Especiales forman parte del Sistema de Gestión de Puentes, pero son actuaciones singulares, motivadas por la necesidad de reconocimiento de una estructura en un estado de conservación no adecuado (detectado en alguna de las inspecciones antes descritas) o que ha sufrido un deterioro importante por causas accidentales.

Suelen ser realizadas por un equipo técnico especializado, de alta calificación, bajo la supervisión de un ingeniero especialista en estructuras y requieren la utilización de medios auxiliares que permitan inspeccionar en detalle todos los elementos visibles de las obras.

Además, del reconocimiento "in situ" se completan con la toma de datos y/o testigos, muestras, ejecución de catas y otros trabajos de campo que junto con sus correspondientes ensayos y pruebas de laboratorio permiten conocer el estado de la estructura inspeccionada.

En general, el análisis y estudio de los resultados obtenidos de esta inspección da por resultado un Informe de Evaluación, que analiza los daños o deterioros detectados en la estructura y su posible importancia, y contempla una serie de actuaciones para resolver los daños. Si éstos resultan de cierta gravedad, es necesario redactar un Proyecto de Rehabilitación o Reparación de la obra de paso.

Por tanto, la última actuación dentro de este Sistema de Gestión de Puentes es la redacción del proyecto de rehabilitación y la ejecución de esas obras.

Inspecciones profundas

La inspección puede incluir factores de carga (load rating) para evaluar la capacidad residual del elemento o elementos, dependiendo de la extensión del daño o deterioro.

Pruebas no destructivas pueden ser desarrolladas para determinar la capacidad de carga segura del puente.

El tipo de inspección puede ser programado independientemente de la inspección rutinaria, aunque generalmente en un intervalo más largo, o puede ser un seguimiento de daños o inspecciones iniciales.

Para puentes pequeños las inspecciones profundas, si se justifican, pueden incluir todos los elementos críticos de la estructura. Para puentes grandes y complejos estas inspecciones pueden ser programadas separadamente para segmentos definidos del puente o para grupos designados de elementos, conexiones o detalles que pueden ser dirigidos eficientemente mediante alguna o similar técnica de inspección.

Si se elige la última opción, cada segmento, cada grupo de elementos designados o ambos, conexiones, o detalles que pueden ser claramente identificados como un registro importante, a cada uno se le debe asignar una frecuencia de re inspección.

Personal con habilidades especiales tales como buzos y aparejadores puede ser requerido

4.7.4 Trabajos previos

Los trabajos previos incluyen dos tareas, que se realizan habitualmente en paralelo, por una parte, la búsqueda de toda la información documental que pueda existir de la obra de paso motivo de evaluación: proyectos de construcción, proyectos modificados, proyectos





de liquidación, proyectos de reparación o rehabilitación, informes de inspecciones anteriores, básicas, principales o especiales, o cualquier otro documento en relación con el puente que pueda ser útil para conocer sus características, tanto geométricas, como de los materiales con que fue construido, del proceso de construcción empleado para realizar la obra, etc.

Por otra parte, una inspección o visita de reconocimiento del puente a evaluar, que permita definir los medios auxiliares necesarios para realizar la Inspección Especial y estimar el alcance de una posible campaña de toma de datos y realización de ensayos en el lugar, para poder analizar la viabilidad de la ejecución de la misma.

4.7.5 Inspección de reconocimiento

Es frecuente entre los proyectistas de puentes comentar la necesidad de conocer e inspeccionar el lugar en el que se propone proyectar un puente, ya que esto permite que la estructura proyectada se integre en el lugar correctamente; esta integración no sólo es un tema de carácter "estético", sino que es mucho más amplia.

En el caso que nos ocupa esta visita al lugar en que se emplaza el puente, y la realización de una primera inspección de la estructura existente es indispensable, ya que es prácticamente imposible realizar un proyecto de rehabilitación, reparación o ampliación de un puente existente sin haber realizado un reconocimiento detallado tanto del estado del puente en cuestión como del lugar en que se encuentra.

Esta inspección de reconocimiento permite tomar un primer contacto con los problemas que se han de resolver, así como determinar en primer lugar qué trabajos deben ser incluidos en la Inspección Especial.

A su vez, durante esta visita al lugar de emplazamiento de la obra se puede establecer la facilidad o dificultad que puede haber para acceder a inspeccionar o en su caso tomar datos o testigos de la estructura, y si son necesarios medios auxiliares para realizar estas tareas. También se pueden evaluar cuáles son los medios auxiliares más adecuados para llevar a cabo los trabajos, y también las necesidades de realizar algún tipo de corte o restricción al tráfico durante las labores a realizar en la Inspección Especial.

Evidentemente esta primera toma de contacto con la estructura debe permitir establecer qué tipo de patologías o daños son visibles a simple vista, ya que esta información permitirá orientar correctamente la definición del alcance de la campaña de toma de datos y testigos, e incluso definir los elementos de la estructura que han de requerir una inspección más detallada.

4.7.6 Inspecciones especiales

Una Inspección Especial es aquella que se realiza disponiendo de los medios auxiliares para poder comprobar el estado de los distintos elementos que conforman las obras de paso y en la que se realiza la toma de muestras y se llevan a cabo los ensayos y las pruebas necesarias para poder valorar de una forma más concreta las actuaciones necesarias para rehabilitar la estructura.

A partir de esta inspección, se emite un Informe de Evaluación y Propuestas de Reparación de la estructura, determinando en él, o en el posterior Proyecto de Rehabilitación o Reparación, las actuaciones necesarias para garantizar tanto la seguridad estructural de las obras como la prolongación de la vida útil de las mismas.

En general, suelen proponerse varias alternativas de reparación, a tenor del grado de rehabilitación necesaria y de la importancia de los deterioros, para poder establecer una



serie de alternativas de reparación, de la que se elegirá una de ellas como la más recomendable al valorar conjuntamente los aspectos técnicos, económicos y de plazos de ejecución.

4.7.7 Medios auxiliares

Uno de los factores que diferencian a las inspecciones especiales de las inspecciones previas (Básicas o Principales), es la posibilidad de requerir el empleo de medios auxiliares de acceso para la inspección, la toma de muestras o testigos, la realización de mediciones o la ejecución de ensayos "in situ".

Los medios auxiliares a disponer dependerán, en primer lugar, de la tipología y dimensiones de la obra de paso, y en segundo lugar de las necesidades de acceso que tengan los trabajos previstos dentro de la inspección.

Los medios auxiliares más habituales empleados en las inspecciones de obras de paso se relacionan a continuación: grúas con canastilla que faciliten el acceso desde caminos que discurren bajo la estructura, plataformas elevadoras o andamios a colocar bajo la misma, junto a pilas o estribos, camiones con plataformas telescópicas de inspección que permitan la accesibilidad a la cara inferior del tablero en viaductos o puentes sobre ríos caudalosos, barcas para acceso desde el cauce al intradós de bóvedas o pilas, etc.

4.7.8 Toma de muestras - Apertura de calicatas - Ensayos de laboratorio

Durante la inspección preliminar que se suele realizar a las estructuras a valorar se realiza un primer levantamiento de patologías y toma de datos geométricos, que después permitirán el diseño de una adecuada campaña de campo, prevista de forma detallada y minuciosa para que proporcione los datos que resulten necesarios de cara a una posterior valoración de las estructuras.

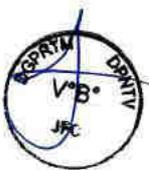
Se deberá indicar de forma concreta la cantidad de muestras a tomar, la ubicación de las mismas, sus características, etc.

Debido a la posible falta de datos del proyecto original de los puentes, uno de los objetivos fundamentales de la toma de muestras a realizar y el posterior ensayo de las mismas es la caracterización de los materiales constituyentes de la estructura, así como la determinación de resistencias y composición de dichos materiales.

Otros datos que suelen ser necesarios en el caso de no disponer de la citada documentación original de la obra de paso, son los siguientes: espesores del recubrimiento, cuantías de armado y disposición de las barras en el caso de estructuras de concreto, para lo cual se precisa la apertura de calas en distintos puntos; tipología y geometría de la cimentación, para lo que se realizan catas junto al arranque de bóvedas y pilas que descubran la misma; medida de los espesores de chapas y perfiles metálicos mediante ultrasonidos, que permitan determinar si la corrosión sufrida por las estructuras metálicas ha generado pérdidas de sección de importancia en sus elementos; espesor del pavimento, y localización de la existencia de posibles sistemas de impermeabilización bajo el mismo, a través de la extracción de testigos en calzada.

4.7.8.1 Levantamiento topográfico

Para realizar el levantamiento de las patologías que se observan en la estructura, y sobre todo a la hora de desarrollar un Proyecto de Reparación, es primordial disponer en primer lugar del levantamiento geométrico detallado de la propia estructura, que se debe realizar con un nivel de detalle suficiente como para que sirva de base también en una posible valoración estructural de la obra, una modelización de la misma para el análisis mediante





programas informáticos para el cálculo de estructuras, o el dibujo de los planos de estado actual, actuaciones y estado final de la obra.

Es importante en esta fase el dirigir la toma de los datos topográficos para la obtención del nivel de detalle buscado, que puede requerir incluso la toma de los tamaños aproximados de los sillares, el detalle de la forma de anclaje de las barreras, o la disposición o no de pretilas, barreras metálicas de doble onda y barandillas. Otros datos que suelen resultar de interés son las cotas en calzada de la rasante, tanto en lo que se refiere al perfil longitudinal de la estructura como al perfil transversal de la misma, que pueden resultar muy útiles a la hora de estudiar el desagüe pluvial de la calzada.

4.7.8.2 Inspección subacuática

Uno de los daños más frecuentes en las obras de paso sobre cauces es la socavación de la cimentación de las estructuras, que puede causar un daño muy importante en obras por otro lado robustas y durables, hasta el punto de llegar a producir el colapso de las mismas sin previo aviso.

Para tratar de evitar estos daños, resulta muy recomendable efectuar la inspección de las cimentaciones de las estructuras que se encuentren en cauces de cierta importancia, o en aquellos que presenten fluctuaciones estacionales importantes, o características del cauce en las inmediaciones del puente que favorezcan las corrientes.

A través de la inspección subacuática de la cimentación, efectuada por profesionales especialistas en la inspección de estructuras, se pueden detectar procesos de socavación incluso incipientes, que se pueden evitar mediante acciones correctoras como la protección de las mismas con escolleras o gaviones, o el refuerzo del cimiento mediante inyecciones o micropilotes.

Durante la inspección subacuática se determinarán no sólo estos posibles daños, sino su dimensionamiento, así como también las dimensiones de zapatas u otros elementos del cimiento.

4.7.8.3 Estudio geotécnico: Catas, sondeos, ensayos de laboratorio

Existen determinadas patologías en las estructuras que se producen a causa de una escasa capacidad portante del terreno, lo que puede generar asentamientos diferenciales y giros. Estas patologías no son fácilmente detectables por sí mismas, pero pueden generar grietas o giros en la superestructura de la obra de paso que, detectadas por especialistas, pueden ser resueltas de forma adecuada.

En el caso de detectar la posibilidad de que se produzcan patologías de este tipo, será necesario conocer la naturaleza del terreno portante, para lo que se desarrollará una campaña geotécnica adecuada que mediante sondeos y catas nos proporcione datos sobre la estratigrafía del terreno y los parámetros del suelo.

4.7.8.4 Otras labores a desarrollar

En paralelo a las labores de inspección puede surgir la conveniencia de efectuar una auscultación de las estructuras que permita el seguimiento de la evolución de determinadas patologías que se detecten, que por su alcance o importancia no revistan carácter urgente en el momento de la inspección, pero que puedan significar un daño incipiente, en sus primeros estudios, que según su evolución más o menos rápida pueda requerir de una reparación a medio o largo plazo.

Respecto a las pruebas de carga, estarán indicadas tan sólo en caso de que se detecte algún tipo de comportamiento estructural anómalo, y sólo en algunas de las tipologías de

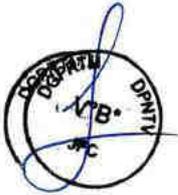




puentes, ya que en general son poco recomendables en puentes bóveda, por ejemplo, ya que no reflejará resultado alguno; por ello, no están indicadas como método de valoración de patologías en una obra de paso.

4.7.9 Pruebas de inspección especial de componentes de puente de concreto

- Carbonatación
- Contenido de cloruros
- Ataque de sulfatos
- Mapeo para potencial electroquímico
- Resistividad
- Porosidad
- Medición de la velocidad de corrosión
- Ensayo a compresión
- Ensayo de módulo de elasticidad
- Prueba de campo
- Prueba esclerómetro
- Prueba de pulso ultrasónico.
- Prueba de adherencia
- Levantamiento geométrico, localización de refuerzo y medición de recubrimiento.





CAPITULO V

INFORMES DE INSPECCIÓN

5.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se abordará el tema relacionado con los informes a presentar como resultado de la inspección, incluyendo una calificación numérica del estado en que se encuentra el puente.

El archivo de datos de cada puente debe estar conformado por dos módulos: Una información sobre el puente que permanece invariable (inventario) y otra información que es constantemente modificada con el transcurso del tiempo (datos de inspección).

Los datos fundamentales que comprenden un informe de inspección son:

- Identificación.
- Características geométricas.
- Características estructurales.
- Calzada y elementos auxiliares.
- Estado de conservación.
- Observaciones y recomendaciones.

También se tratará acerca de la estimación de recursos e identificación de puentes en estado crítico.

Se adjunta en el Anexo III los formatos a utilizar para la toma de datos de la inspección.

5.2. DEL INFORME DE INSPECCIÓN

El informe de Inspección incluirá los datos de inventario del sistema estandarizado, adaptado a procesos de computadora y un factor numérico que represente la calificación de la condición en que se encuentra el puente con un valor entre 1 a 6, de acuerdo con los criterios señalados en la Tabla 15.

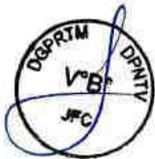
Los Informes de Inspección son de gran ayuda para ilustrar el estado del puente, particularmente para mostrar los detalles de los daños encontrados durante la inspección; los mismos que incluirán descripciones, diagramas y fotografías que detallen los defectos hallados; así mismo deberán precisar la ubicación del problema y su extensión.

Al elaborar el Informe hay que tener presente que, en base a esta información, podrán proyectarse acciones de mantenimiento y posibles asignaciones de recursos económicos. Además, es un registro técnico que puede constituir un elemento importante en algún litigio futuro.

El lenguaje utilizado en el informe será claro y conciso y, en beneficio de la uniformidad, se utilizará la misma terminología hasta donde sea posible, para evitar ambigüedad en el significado.

La información contenida en los informes será la obtenida en las inspecciones de campo y complementada con la referencia de los planos de construcción y verificación en el campo.

Aun cuando sólo se trate de una inspección rápida, para verificar algún detalle específico, donde se anticipe un cambio o problema, y no se detecten cambios evidentes en la





inspección y aun cuando las condiciones existentes parezcan no ser importantes, se elaborará un Informe por cada puente inspeccionado.

Como parte del Informe del puente, se incluirán dos fotografías, una mostrando una vista panorámica de la carretera y otra que muestre la elevación principal; también podrán incluir otras fotografías que considere significativas, que muestren las fallas importantes u otras características especiales.

Las fotografías deberán expresar lo más detallado posible, los daños encontrados en la estructura, también se debe ilustrar mediante croquis o planos necesarios, la localización exacta de las fallas encontradas en el campo, para apreciar su magnitud real.

Es conveniente adjuntar una fotografía que muestre las instalaciones complementarias de la estructura, así como las señales de peligro, falla o defecto, que ameriten ser mencionados, al igual que la descripción de las condiciones y la de evaluación correspondiente.

La elaboración de planos de fallas, al igual que el reporte fotográfico, viene a ser un complemento importante para el informe global de la inspección, haciendo más tangible el trabajo que se ha realizado durante la inspección y posibilita la evaluación y realización del proyecto de rehabilitación.

El Inspector debe hacer una comparación de la condición o grado de deterioro. Los diagramas bien elaborados son muy útiles para determinar, en investigaciones futuras, el desarrollo de las fallas y para ayudar a determinar los cambios y su magnitud. Se incluirán todas las recomendaciones e instrucciones para la reparación o el mantenimiento correspondiente.

5.3. MÉTODO PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN

El método propuesto sintetiza las consideraciones del análisis efectuado por métodos internacionales, este método permitirá describir el estado de progresión del deterioro y sus posibles consecuencias sobre la estructura. El conjunto de aspectos incluidos en el desarrollo del procedimiento se resume en la Figura 23. Donde se puede observar que en muchos casos existe una interrelación entre distintos elementos evaluados; por ejemplo, un tipo de deterioro particular puede afectar a un componente del puente y recíprocamente la mala conceptualización o funcionamiento del componente puede promover la ocurrencia de daño en el mismo componente o en otros.

El método trata de profundizar en consideraciones particulares para condiciones de carga distintas a aquellas de uso (como el tránsito) y de deterioro ambiental, tomando en cuenta los aspectos sísmicos e hidrológicos que vienen dañando a los puentes en el territorio peruano. En el esquema se desarrolla el concepto de consecuencia de falla, el cual incorporan modificaciones relacionadas con la importancia estructural de los componentes del puente en función del tipo de falla, sus repercusiones (ej.: económicas y pérdidas de vidas) y su importancia funcional.

La valoración de la condición del puente depende inicialmente de una apropiada inspección visual objetiva, llevada a cabo siguiendo un procedimiento estandarizado. Obviar daños importantes durante la inspección o sobrevalorar los daños conlleva calificaciones erróneas. Adicionalmente, la práctica de labores de inspección periódicas ayuda a detectar daños incipientes y propiciar su pronta atención. Las inspecciones periódicas efectivas afectan de forma positiva la condición del puente y ayudan a comprender las necesidades de conservación y las causas del deterioro.



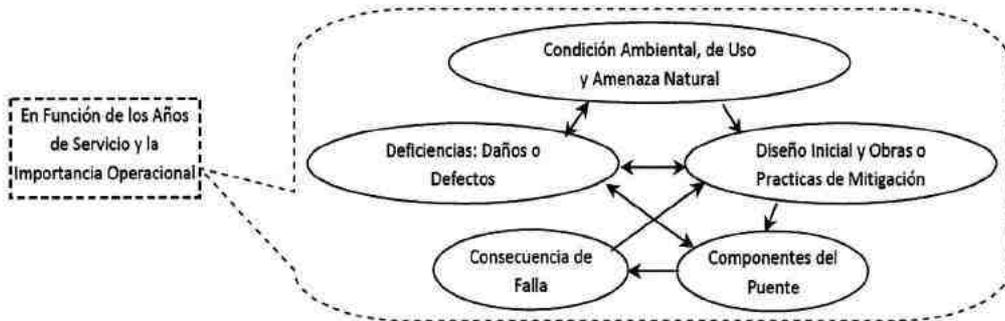


En la metodología se debe determinar la importancia operacional de la estructura según las recomendaciones del Manual de Puentes y se debe investigar o estimar la fecha de construcción de la estructura. Estos dos aspectos son de importancia, ya que la intensidad con que se evalúan eventos como sismos o inundaciones varía según la vida útil remanente de la estructura y su importancia operativa según el nivel de desempeño mínimo requerido para la emergencia. El deterioro ambiental y por tránsito guarda una relación incremental relacionada con el envejecimiento del puente.

En esta calificación de condición se incluyen recomendaciones asociadas a la urgencia de atención de la estructura, labores de reparación y mantenimiento, o estudios adicionales necesarios de realizarse. Dentro del alcance de la metodología propuesta se contempla, como se detallará posteriormente, una serie de recomendaciones generales mínimas necesarias según el estado en que se encuentra la estructura.

- 1) Procedimiento transparente y claro que relaciona la condición de forma directa con los daños.
- 2) Método de sencilla aplicación, que evalúa la condición tanto de los puentes como de los componentes.
- 3) Se da una descripción de la condición, aspecto útil para la comunicación del estado de la estructura a las autoridades gestoras interesadas (gobierno, sector privado o municipalidades), como para el público en general.

Figura 23. Aspectos involucrados en esta propuesta de calificación de la condición de puentes



5.4. DESCRIPCIÓN DE LA CALIFICACIÓN Y VARIABLES.

La calificación propuesta consta de 6 niveles como se muestra en la Tabla 15. En cada uno de estos niveles se parte del supuesto que el puente de la Red Vial Nacional cuenta con programas de mantenimiento rutinario.

Para calificar el puente dentro de alguna de las categorías de condición mostradas en la Tabla 17, se evalúan tres variables. Estas variables son la base del método y su obtención se explica en la en los siguientes apartados, estas variables son las siguientes:

Grado de Daño (GD): esta variable cuantifica el daño observado en una escala del 0 al 3. En este ítem se incluyen una serie de deficiencias que pueden ser causadas por efecto de las cargas ordinarias o de eventos extremos, condiciones ambientales, defectos constructivos comunes (como insuficiente recubrimiento) o defectos de diseño del puente. Se puede calcular mediante el uso de un catálogo de daños.

Relevancia Estructural (RE): relacionado con el nivel de importancia del elemento en el sistema del puente. Aplica a todos los componentes del sistema del puente y su entorno, y no solo a aquellos con una función estructural explícita. Los valores para esta variable



RE van del 1 al 4. El método de cálculo del RE varía según se trate de componentes regulares del puente o de aquellos cuya función es la protección de la estructura en caso de impacto vehicular, sismos o eventos hidrológicos. Su valor depende no solo de la función del componente, sino también de las consecuencias para la estructura de los daños o falla del elemento en la estructura.

Factor de Consecuencia de Falla (FCF): esta variable toma en cuenta los efectos de la falla de los elementos en términos económicos, de pérdida de vidas o lesiones a los usuarios y de la importancia operacional del puente para el funcionamiento adecuado de la carretera. El valor de esta variable se determina tomando en cuenta la importancia operacional del puente, el tipo de falla probable de los elementos y el grado de daño.

Tabla 15.- Niveles de calificación cualitativa

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	NECESIDAD DE ATENCIÓN
1 SATISFACTORIA	Buen estado. Sin daño o los daños son leves. La estabilidad estructural, seguridad vial y durabilidad están aseguradas.	Labores de mantenimiento rutinario preventivo
2 ADECUADA	Deficiencias no afectan el funcionamiento adecuado del puente, en donde los elementos principales ¹ pueden presentar deterioros que afecten únicamente por durabilidad. Deterioros deben ser tratados por aspectos de durabilidad, evitar la progresión del daño en elementos secundarios ² , o procurar un adecuado nivel de seguridad vial a los usuarios	Reparaciones menores que se programan en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico del puente.
3 DEFICIENTE	Deterioro significativo que podría afectar aspectos funcionales pero los componentes estructurales del puente funcionan aún de forma adecuada, sin impacto en los márgenes de seguridad estructural. Daño o defecto en seguridad vial riesgoso para los usuarios	Es necesario programar una intervención no rutinaria en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico
4 SERIA	Puente estable, pero con deterioro en uno o varios elementos estructurales primarios, o falla en secundarios, que reducen significativamente los márgenes de seguridad estructural. Si no se trata la progresión del deterioro, este podría conducir a una situación inestable a futuro. Deficiencia en seguridad vial muy riesgosa para los usuarios	Atención pronta. Se recomienda atender pronto el puente para evitar la progresión del daño. Se debe atender una situación peligrosa en la seguridad vial de forma prioritaria incluyendo el señalamiento al usuario de la condición de tránsito riesgosa
5 ALARMANTE	La estabilidad de la estructura puede estar comprometida en un periodo de tiempo corto debido a la progresión activa del daño, o la deficiencia compromete (o podría comprometer en el corto plazo) parcial o totalmente el tránsito vehicular sobre el puente	Atención prioritaria. Los trabajos de rehabilitación son prioritarios y se recomienda colocar señales visibles al usuario indicando la condición riesgosa del puente. Según el tipo de daño, es posible que sea necesaria una evaluación de la capacidad estructural actual de la estructura para juzgar si es necesario restringir su uso
6 RIESGO INACEPTABLE	Condición de deterioro inaceptable en puentes de importancia muy alta o situación de puente inestable con riesgo alto de colapso. Daño severo en un elemento crítico ³ o daños severos extendidos sobre varios elementos principales. Daño irreversible que posiblemente requiera el cambio del puente o una rehabilitación mayor	Atención inmediata. Cerrar el puente o restringir su uso inmediatamente. Evaluar la necesidad de colocación de soportes temporales o un puente temporal. Realizar una evaluación estructural con propuesta para rehabilitación o cambio del puente, e iniciar proceso de rehabilitación o de construcción de una estructura nueva

1 Elementos principales: tablero, vigas principales de superestructura, torres, cables, apoyos, pilas, bastiones, cimentaciones, y elementos de refuerzo o rehabilitación estructural sobre elementos principales.

2 Elementos secundarios: dispositivos y señalamiento de seguridad vial, elementos de los accesos y obras/dispositivos/señalamiento/tratamientos de protección contra eventos extraordinarios (impacto vehicular, sismo, avenida) o por durabilidad

3 Elemento crítico: elemento principal no redundante cuya falla lleva al colapso de la estructura



5.5. PASOS PARA DETERMINAR LA CALIFICACIÓN

Para determinar la calificación de la condición estructural del puente mediante la inspección visual se propone seguir los siguientes seis pasos.

5.5.1 Información preliminar e inspección visual del puente

Se realiza una búsqueda de información básica del puente como los planos constructivos, la fecha de construcción, el historial de inspecciones y mantenimiento y características del tránsito como el Índice Medio diario IMD. Con estos datos se determina la importancia operacional (crítico CR, esencial E y convencional CO) y el rango de vida remanente del puente (ASL). Los aspectos relacionados con la importancia y vida residual del puente se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16. Calificativos del puente según su importancia operacional y vida residual

Importancia Operativa y Económica del Puente	Vida Remanente del Puente ASL (vida útil entre 50 y 75 años)
Convencionales (CO)	ASL 1 (menor a 15 años)
Esenciales (E)	ASL 2 (15-50 años)
Críticos (CR)	ASL 3 (mayor a 50 años)

5.5.2 Vida de servicio remanente

En la estimación de la vida remanente de un puente se debe tomar en cuenta los siguientes factores: la edad, la condición estructural, la especificación utilizada para el diseño y la capacidad para soportar tráfico actual y futuro.

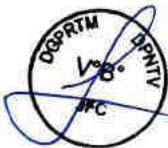
También se debe tener en cuenta el efecto que tienen en la capacidad del sistema sismorresistente los deterioros existentes en los elementos producidos por otras acciones, tales como las cargas permanentes y las cargas temporales.

No se justificará la rehabilitación de un puente con una vida de servicio remanente corta porque la probabilidad de que el sismo de diseño ocurra durante la vida remanente es muy baja y porque no es económicamente justificable.

5.5.3 Identificación de componentes del puente y asignación de la relevancia estructural RE

Con la inspección visual e información de planos se realiza un listado de los componentes del puente para cada uno de los tramos de la superestructura y subestructura. A cada uno de estos elementos se le asigna un valor de Relevancia Estructural RE, que es una variable que incorpora la importancia de un componente según sea su función en el sistema global del puente y la consecuencia de la falla del elemento sobre la estructura. Aquí se sopesa no solo el aspecto estructural sino también aspectos de seguridad vial, durabilidad y protección del entorno, como se puede observar en la Tabla 17.

Los elementos del puente que cumplen la labor específica de proteger la estructura de eventos sísmicos o hidrológicos, están incluidos en la Tabla 17. Para evaluar los sistemas de protección, se toma en cuenta que la magnitud de estos eventos varía en función del tiempo, por lo que se incluye la variable ASL (vida remanente de la estructura). Para sismos, la magnitud de la intensidad está asociada al concepto de periodo de retorno,





aplicado en la práctica común de diseño de estructuras sismorresistentes. En el caso de eventos hidrológicos, se puede utilizar algún parámetro, como la frecuencia de overtopping, para estimar preliminarmente la peligrosidad de la amenaza para la estructura. El overtopping se da cuando el agua rebalsa o golpea la superestructura del puente, situación que ocurre cuando el área hidráulica es insuficiente. Este fenómeno se puede correlacionar con la probabilidad de que la cimentación sufra daños por socavación (NCHRP 2006). A diferencia del cálculo de avenidas para el cauce del río en un determinado periodo de retorno, el overtopping puede ser aproximado con base en el conocimiento de los pobladores del entorno del puente, lo cual lo convierte en un parámetro útil para la evaluación.

Los elementos en puentes para la protección contra inundaciones y sismo son, en esta metodología, únicamente aquellos componentes o aspectos geométricos de diseño se activen en caso del evento.

5.5.4 Determinación de grados de daño GD

Luego de identificados los elementos, se catalogan los daños observados por elemento y se asigna un valor de grado de daño, *GD*. La caracterización de la magnitud y peligrosidad del daño se ve reflejada en el valor de *GD*, que se calcula tomando en cuenta la extensión y la severidad del daño.

Esta clasificación es acorde con los estados de progresión del deterioro protegido, atacado (o expuesto para durabilidad), dañado y fallado, cuyo uso es práctico en la definición de estrategias de intervención (AASHTO, 2014). Por ejemplo, para un elemento con daños o fallas considerables (*GD* = 3) es muy posible que sea necesario un cambio o reconstrucción del elemento.

Los daños sobre la estructura del puente se pueden clasificar como daños que afectan la durabilidad, la operación o la capacidad estructural del puente y en los componentes no estructurales, es decir que no afectan la capacidad o estabilidad estructural del puente directamente sino que perjudican su adecuado servicio/uso, se clasifican como funcionales y corresponden a todo tipo de daños o defectos sobre los siguientes componentes específicos: superficie de rodadura, junta de expansión, seguridad vial, accesos y drenajes.

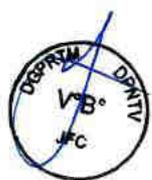




Tabla 17. Relevancia estructural, RE, sugerida para varios componentes del puente

TIPO DE FALLA DEL COMPONENTE	RE = 1	RE = 2	RE = 3	RE = 4
A: Servicio, Seguridad Vial y Durabilidad	+Juntas de Expansión +Seguridad Vial: - Señalización - Iluminación - Drenaje en Puente +Superficie de ruedo +Durabilidad - Pintura estructura	+Seguridad Vial*: - Barreras vehiculares en puente - Aceras - Juntas de expansión**		
B: Falla elemento secundario, de entorno o de Protección	+Accesos: - Barrera vehicular - Drenaje en acceso - Manejo de aguas	+Protección: - Altura o carga máxima +Accesos: - Relleno y losa de aproximación - Muros de contención +Aletones y muros +Superestructura: - Diafragma - Arriostres (superior o inferior)	+Superestructura: - Diafragma (sesgo > 30°) - Vigas transversales y largueros de piso - Armadura/viga rigidizadora (colgantes o atirantados) +Rehabilitación: - Postensión externa - Recalce o pilas adicionales	
C: Redundante: Falla del elemento principal de forma individual no causaría necesariamente colapso del puente		+Rehabilitación: - Refuerzo con fibra en vigas y losas - Refuerzo con fibra en pilas - Refuerzo/adición de vigas +Apoyos: - Elastomérico sencillo - Elastomérico reforzado	+Tablero +Superestructura: - 4 o más vigas de concreto o acero - Puente tipo cajón - Cuerpo arco de concreto - Elemento secundario en cercha +Unión rígida (puente tipo marco) +Bastión: - Cabezal y cuerpo - Cimiento sobre pilotes +Pila: - Cuerpo muro o marco con pantalla - Viga cabezal - Pilotes múltiples de acero +Colgantes y atirantados - Cables secundarios y sus anclajes	+Superestructura - Estructura de madera - Elemento primario en cercha +Pila: - Cimiento sobre pilotes
D: No redundante: Falla de elemento principal podría causar colapso total, o una falla grave para funcionamiento del puente			+Apoyos: - Apoyo en cerchas metálicas - Expansivo (rodillo, pin, etc.) - Apoyo fijo en cerchas metálicas - Apoyos tipo pot bearing, de disco, esféricos y cilíndricos - Aislamiento sísmico +Bastión: - Cimiento superficial	+Pila: - Columna - Cuerpo tipo marco - Cimiento superficial o desconocido +Superestructura - Puente con 3 o menos vigas de concreto o acero - Puente de arco de mampostería o acero +Colgantes y atirantados - Torres - Cables primarios y sus anclajes
PS: Elemento entra en función en caso de sismo	Puentes ASL1	Puentes ASL2	Puentes ASL3	
PH: Elemento entra en función solo en caso flujos de detritos, crecida del río ^Y	O°	Puentes ASL2 y Puentes ASL1 ¹	Puentes ASL3	
	V° Puentes ASL2 y Puentes ASL1 ¹	Puentes ASL3		
	R° Puentes ASL3			
NOTAS: **cuando se tenga una gran apertura peligrosa a usuarios o el tránsito deba reducir la velocidad ° Amenaza hidrológica (evidenciada por ejemplo mediante la recurrencia de "overtopping" sobre la estructura): O = Ocasional (ocurre cada 10 años o menos), V = Una vez en la vida (se estima un evento importante ocurre al menos una vez en la vida, ≈ 50 años), R= Remota (≈ cada 100 años). Consultar para su estimación a vecinos y los estudios hidrológicos con los que cuente la estructura ¹ Vida de servicio remanente: ASL1 (Menor a 15 años) / ASL2 (Entre 15 años y 50 años) / ASL3 (Mayor que 50 años) ^Y No Aplica en pasos a desnivel				





Un daño estructural se asocia como mínimo con un $GD = 1$ ya que los daños generan afectaciones estructurales evidentes, como destrucción del material, discontinuidad (usualmente asociados a agrietamiento > 0.3 mm de espesor), desplazamientos o deformaciones excesivas, ruptura de elementos o pérdida de sección por mencionar algunos casos. La valoración del agrietamiento del concreto requiere de atención particular para valorar si se considera un daño estructural o una afectación a la durabilidad, tomando en cuenta, por ejemplo, de si se trata de concreto reforzado o preesforzado.

Los daños a la durabilidad son aquellos que afectan la protección o tienden a incrementar la exposición al daño. Un daño que afecta la durabilidad puede estar vinculado con daños estructurales como agrietamiento, corrosión o pérdida de sección por descascaramiento, sin embargo, el efecto debe ser evaluado por separado. Daños comunes que afectan la durabilidad son: recubrimiento insuficiente (inclusive con acero expuesto), pintura deteriorada o inapropiada, nidos de piedra, micro agrietamiento y oxidación. El puntaje máximo para defectos por durabilidad es de $GD = 1$, regla que aplica para todos los componentes del puente; el valor máximo de $GD = 1$ previene que un defecto severo de durabilidad no sea sobrevalorado cuando aún no se derivan consecuencias estructurales. El rango del valor posible de GD , según las consecuencias estructurales, funcionales o por durabilidad se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18. Rango de valores de GD según las consecuencias estructurales, funcionales o de durabilidad.

CONSECUENCIA DEL DAÑO	$GD = 0$	$GD = 1$	$GD = 2$	$GD = 3$
DURABILIDAD	X	X		
FUNCIONAL		X	X	X
ESTRUCTURAL		X	X	X

5.5.5 Grado de consecuencia de falla FCF

Una vez identificados los elementos y asignados los valores de RE y GD , sería solo necesario determinar el valor del denominado Factor de Consecuencia de Falla FCF . Este factor se escoge para cada elemento según sean las consecuencias de su falla y relevancia sobre el puente (según el tipo de falla Tabla 17) y la importancia de la estructura en términos de las consecuencias en caso de colapso, o una prohibición/restricción del uso (ver Tabla 19). En la Tabla 20 establece la relación entre los grados de daño y la relevancia estructural en función de la importancia.

En la Tabla 19 y Tabla 20 se introduce un nivel de importancia adicional denominado como $CR+$, específicamente ideado para los puentes de la red vial nacional de importancia estratégica, con gran importancia económica y cuyo colapso presenta un alto riesgo de pérdida de vidas humanas debido a su alta ocupación ($TPD > 50\ 000$). Para este caso de puentes calificados como $CR+$, se utiliza un factor FCF de 1.15 para algunos componentes del puente según su relevancia estructural. Para estos elementos, inclusive un grado de deterioro moderado se considera como una situación riesgosa e inaceptable tomando en cuenta las consecuencias económicas y posible pérdida de vidas humanas que se derivan de su falla.





Tabla 19. Definición de niveles de consecuencias de falla

CONSECUENCIA		FCF	DESCRIPCIÓN
Nivel 1:	BAJA	0.70	Consecuencias leves sin riesgo de pérdida de vidas o lesiones, molestias a usuarios, servicio puede ser afectado en periodos cortos (Puentes Convencionales "CO").
Nivel 2:	MODERADA	0.85	Consecuencias moderadas. Riesgo leve de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica considerable (Puentes Esenciales "E").
Nivel 3:	ALTA	1.00	Consecuencias altas. Riesgo moderado de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica alta (Puentes Críticos "CR").
Nivel 4:	SEVERA	1.15	Consecuencias muy altas. Riesgo alto de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica muy alta (Puentes Críticos con TPD > 50000 vehículos "CR+").

Tabla 20. Relación entre la Relevancia Estructural RE y los grados de daño niveles de consecuencias

RE	CO			E			CR			CR+		
	GD=1	GD=2	GD=3									
1	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.85	0.70	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.70	0.70	0.85	0.70	0.70	0.85	0.85	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00
3	0.70	0.85	0.85	0.70	0.85	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15
4	0.70	0.85	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.15

5.5.6 Calificación de los elementos del puente CE

Los tres factores calculados anteriormente se combinan para determinar la calificación de cada uno de los elementos. El valor de CE , que se encuentra en el rango de 1 a 6, se obtiene al redondear a un número entero el valor calculado mediante la siguiente ecuación:

$$CE_i = \left\{ \text{Entero} \left\{ \left[\frac{1}{(FCF * RE) - 1} + GD \right] \right\} \leq 6 \text{ Si } GD = 0, \text{ Si } GD \neq 0 \text{ Ecuación 1} \right.$$

Como se puede observar, si $GD = 0$ entonces $CE_i = 1$ y $CE_{\min} = 1$ y $CE_{\max} = 6$. CE_i corresponde a la calificación de un componente "i" del puente.

La deducción de esta Ecuación 1 corresponde a un simple arreglo en la escala de 1 a 6 de la suma de efectos $RE + GD$, el cual presenta un apropiado ajuste a los resultados esperados para el puente según el criterio de la UP. La variable GD se asume independiente del factor de consecuencia de falla FCF , no obstante, este último sí modifica el peso del factor RE en la ecuación. Aquí cabe recalcar la importancia del cálculo adecuado de un valor de GD . En particular, el grado $GD = 3$ corresponde específicamente a un estado en que el tipo de deterioro tiene implicaciones serias en el elemento o que el mismo inclusive ya ha fallado.

En la Tabla 21 se resumen todas las posibles permutaciones resultantes del uso de la Ecuación 1 para los cuatro grados de importancia propuestos. Allí se observa con mayor claridad los efectos de tomar en cuenta los valores de FCF para calificar el elemento. Además, en la Tabla 21 se evidencia de forma clara el aumento de la calificación en relación con el incremento tanto del daño como de los valores de relevancia estructural.

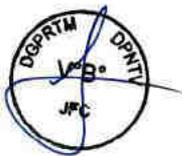




Tabla 21. Calificación por componente CEi según los valores de FCF, RE Y GD

RE	CO				E				CR				CR+			
	GD=0	GD=1	GD=2	GD=3												
1	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3
2	1	1	2	4	1	1	2	4	1	2	3	4	1	2	3	4
3	1	2	4	5	1	2	4	5	1	3	4	5	1	3	4	5
4	1	3	4	6	1	3	5	6	1	4	5	6	1	4	5	6

6) Clasificación global del puente para el mayor CP

En esta metodología la calificación global del puente se asigna en función del elemento con mayor puntaje obtenido.

Lo cual se describe también mediante la Ecuación 2:

CP = max(CEi) Ecuación 2

Al hacer este tipo de propuesta, se asume que el puente está formado por elementos independientes entre sí y se concibe el sistema global del puente como un sistema en serie. En una formulación en serie se asume que la falla del elemento más débil provoca la falla de todo el sistema, por lo que es considerada una formulación conservadora siempre y cuando (desde un punto de vista probabilístico), la probabilidad de falla total esté gobernada por la probabilidad de falla de ese elemento específico. No obstante, se debe mencionar que al tomar en cuenta la redundancia para algunos elementos de la superestructura se alcanza en algún grado el efecto indirecto de una formulación en paralelo del sistema, en donde la falla se da luego de la falla del componente más fuerte.

La formulación del sistema como elementos mutuamente independientes, si bien no corresponde con la situación real, es una simplificación conveniente. Encontrar las matrices de correlación entre los elementos es una tarea difícil, ya sea que se enfrente desde el punto de vista estadístico, empírico o mediante simulaciones numéricas, debido a que las matrices son diferentes para distintos niveles de daño y tipos de puentes.

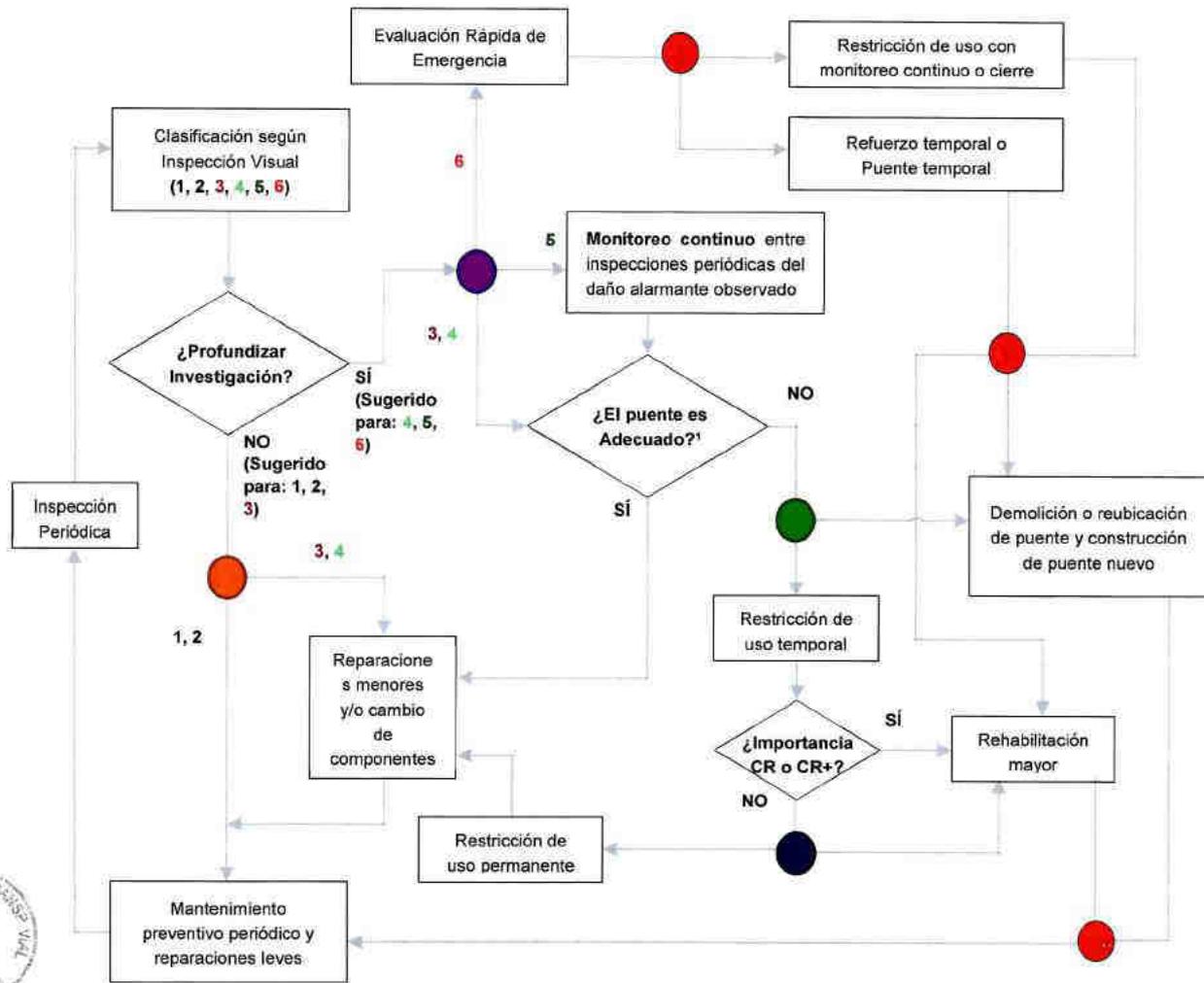
Con un valor asignado de CP, se obtiene finalmente la condición del puente a utilizar en la Tabla 16 para calificar el estado del puente. Esta información es de utilidad para realizar un análisis estadístico de los componentes del puente que presentan mayores problemas con el fin de enfocar los esfuerzos de conservación, rehabilitación e inclusive consideraciones de diseño hacia la prevención del daño; más aún en componentes clave para asegurar la integridad estructural del puente.

La secuencia de la metodología propuesta, con los pasos del 1 al 6, se resume esquemáticamente en la Figura 24.





Figura 24. Esquema de atención de puentes sugerido según la calificación obtenida siguiendo el método propuesto

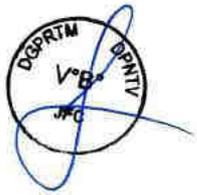
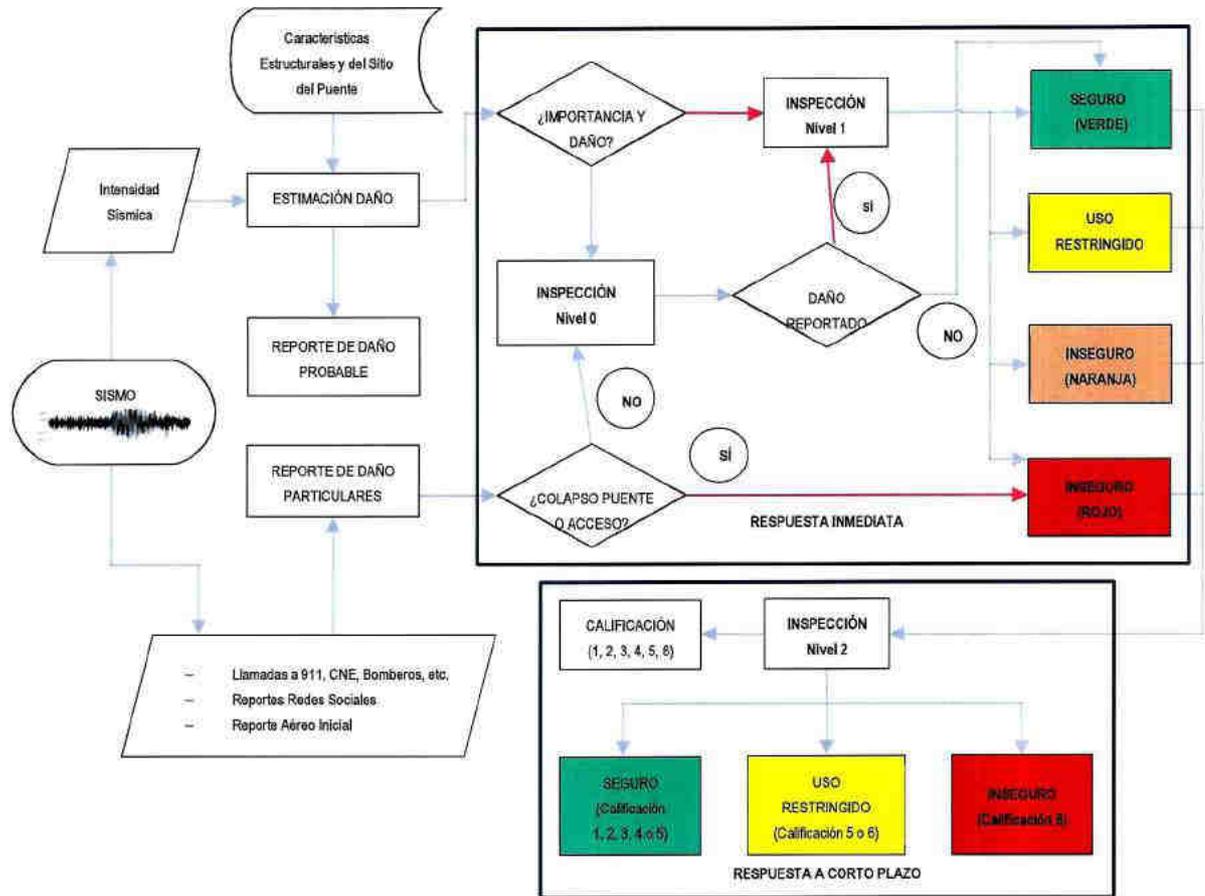


(¹ Adecuado o no según los criterios de evaluación que utilice el área responsable de la gestión).





Figura 25. Procedimiento de etiquetado de puentes en la respuesta inmediata y en el corto plazo (muñoz et al. 2017).



5.6. INSPECCIÓN EFECTUADA POR EL SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO

El personal de mantenimiento por sus labores permanentes en el campo, puede observar defectos o exponer problemas que no observó el Ingeniero Inspector de Puentes, que pueden convertirse en una situación de riesgo o ser causa de un problema futuro en los puentes de su jurisdicción, debiendo informar a fin de que se disponga de una Inspección Específica de dicho Puente.

Mejores resultados se obtienen cuando el personal de mantenimiento y el Inspector trabajan en forma conjunta y coordinada.

5.7. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

El sistema de información de las Inspecciones debe proporcionar datos que puedan ser usados para la posterior evaluación y estimación de los recursos necesarios para mantener o rehabilitar el puente. La exactitud de la información permitirá una mejor estimación de los metrados y, por ende, de los recursos requeridos, que puede usarse preliminarmente para su posterior análisis en la oficina.

Trabajando juntos, el Ingeniero Inspector y el Supervisor de Mantenimiento, pueden anticipar procedimientos para mejorar la exactitud de la estimación.



La correcta y oportuna evaluación de cada puente, permitirá a la organización central definir la acción que debe tomarse, pudiendo ser de los siguientes tipos:

- ✓ **Acciones normativas.** - Colocación de señales. Limitación de uso (imposición de peso máximo, reducción de velocidad, restricción de un solo carril, etc.)
- ✓ **Acciones preventivas.** - Monitoreo de grietas, deformaciones y asentamientos, colocación de apuntalamientos, así como también la realización de inspecciones más frecuentes.
- ✓ **Acciones ejecutivas.** - Se refiere a la realización de obras en el puente, considerándose los siguientes niveles de atención: mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento.

5.8. IDENTIFICACIÓN DE PUENTES EN SITUACIÓN CRÍTICA

Cuando el Ingeniero Inspector identifique que un Puente se encuentra en Situación Crítica deberá solicitar una Inspección Especial. Esta será efectuada por un conjunto de especialistas, de los cuales por lo menos uno de ellos será Ingeniero Civil especialista en estructuras.

La Inspección Especial se realizará por personal altamente calificado y tendrá por objeto el recabar los datos necesarios para la toma de las acciones correctivas. En las actividades a realizar, se incluyen, el levantamiento geométrico de la estructura, extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y mecanismo de propagación de los daños.

5.9. ACCIONES PARA DETECTAR DAÑOS MÁS COMUNES.

Se debe inspeccionar:



- **Componentes de Madera**

Daños comunes en los componentes de madera son causados por hongos, humedad, parásitos y ataque químico.

Deterioros de la madera pueden ser causados por fuego, impactos o colisiones, abrasión o desgaste mecánico, sobreesfuerzos, intemperie y flexiones (combaduras o pandeos).

Estos pueden ser inspeccionados por exámenes visuales y físicos:

- ✓ El examen visual puede detectar pudrición por hongos o humedad, daños por parásitos, excesiva deflexión, grietas, vibraciones y pérdida de conexiones. El inspector investigará visualmente la extensión de los daños y los documentará apropiadamente en los reportes de inspección.
- ✓ Con respecto a los exámenes físicos se utilizarán técnicas destructivas y no destructivas, tal como se detalla en el Anexo VI.



- **Componentes de Concreto**

Daños comunes en los componentes de concreto incluyen agrietamiento, escamas, delaminación, spalling (descascaramiento), afloramientos, desgaste o abrasión, daños de colisión, pulido, y sobrecarga.

Los agrietamientos en concreto son usualmente finos para ser detectado a simple vista. Se califican como grietas finas, medias o anchas. Las primeras son usualmente insignificantes para la capacidad de la estructura, pero deben ser reportadas como una



advertencia. Las grietas medias y anchas son significativas para la capacidad estructural y deben ser registradas y monitoreadas en los reportes de inspección.

Las grietas pueden ser estructurales y no estructurales:

- ✓ Las grietas estructurales requieren de atención inmediata, toda vez que ellas afectan la capacidad del puente.
- ✓ Las grietas no estructurales son causadas por expansión térmica y contracción de fragua; en losas debe tenerse especial cuidado, puesto que el agua de infiltración de lluvia puede conllevar a la corrosión de la armadura.

El desgaste de la superficie de rodadura es la pérdida gradual y continua de superficie de mortero y agregado sobre un área. La peladura es clasificada en cuatro categorías: ligera, media, dura y severa.

La de laminación ocurre cuando capas de concreto se desprenden cerca del nivel superior o exterior del refuerzo de acero. La mayor causa de laminación es la expansión por la corrosión del refuerzo del acero debido a la intrusión de cloruros o sales.

Estos pueden ser inspeccionados por exámenes visuales y físicos:

- ✓ La inspección visual permite observar los deterioros primarios, como son las grietas y las manchas de óxido. Un inspector debe reconocer el hecho que no todas las grietas son de igual importancia. Manchas de óxido son una de las señales de corrosión de refuerzo de acero en miembros de concreto. La longitud, dirección, localización y extensión de las grietas y manchas de óxido deben ser medidas y reportadas en las notas de inspección.
- ✓ Los exámenes físicos más comunes son el sondeo con martillo (martilleo) y la cadena arrastrada. El primero es usado para detectar áreas de concreto hueco y usualmente para detectar de laminación. Para áreas de superficie grandes, el arrastre de cadenas puede ser usado para evaluar la integridad del concreto con razonable seguridad, aunque en losas no son métodos totalmente seguros; pero son rápidos y baratos.



• **Componentes de Acero**

Daños comunes en los componentes de acero incluyen la corrosión, el agrietamiento, daños por colisión y sobreesfuerzos.

Los agrietamientos usualmente se inician en la conexión, el extremo final de la soldadura o sobre un punto corroído de un miembro y, luego, se propaga a través de su sección transversal hasta la fractura del miembro.

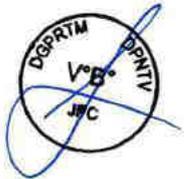
Los inspectores deben observar cuidadosamente en cada uno de las potenciales ubicaciones de fisuras.

La forma más reconocida de deterioro del acero es la corrosión.

En componentes de acero, uno de los tipos de daños más comunes es el agrietamiento por fatiga; estos se desarrollan en estructuras de puentes debido a la repetición de cargas.

El inspector identificará detalles constructivos susceptibles a la fatiga y llevará una inspección completa de dichos detalles.

Para estructuras pintadas, una rotura en la pintura acompañada por manchas de oxidación indica la posible existencia de una grieta de fatiga.





Si se sospecha de una grieta, el área será limpiada y se dispondrá una inspección visual de primer plano. Adicionalmente, se pueden prever más pruebas, tales como tintes penetrantes, para identificar la grieta y determinar su extensión. Si existieran o se descubren grietas de fatiga, se deberá efectuar inspecciones más profundas.

Los sobreesfuerzos de un componente pueden ser el resultado de muchos factores tales como pérdidas de sección compuesta, pérdidas de arriostre y falla o asentamiento de los elementos de apoyo.

Son síntomas de daño debido a sobreesfuerzos las elongaciones inelásticas o decremento del área de acero de la sección transversal en miembros en tensión y el pandeo en miembros en compresión.

Los daños debido a colisión vehicular, incluidas pérdidas de sección, agrietamiento y distorsión de formas serán cuidadosamente documentados, debiendo iniciarse inmediatamente las reparaciones. Hasta que las reparaciones hayan culminado, se recomienda restricción vehicular de tráfico basados en resultados de análisis de evaluación.

- **Componentes Sumergidos**

Corresponde a componentes de la subestructura.

Se necesitan equipos especiales para inspeccionar los componentes sumergidos; asimismo para la visibilidad debe utilizarse equipos adecuados de iluminación.

Los componentes de las estructuras de acero son susceptibles a corrosión, especialmente en las zonas afectadas por la humedad.

- **Tableros**

Los defectos más comunes en tableros de acero son fisuras en soldaduras, seguros rotos, corrosión y conexiones sueltas o rotas. En un sistema de piso de acero corrugado, la pérdida de sección debido a la corrosión puede afectar la capacidad de carga de la cubierta.

Los defectos comunes en tableros de madera son el aplastamiento de la cubierta en los apoyos de los sistemas de piso, daños por flexión tales como fracturas, pandeo y grietas en áreas en tensión y pudrición de la cubierta por organismos biológicos, especialmente en aquellas áreas expuestas al drenaje.

Los defectos comunes en tableros de concreto son desgaste, escama, de laminación, spalling (descascaramiento), grietas de flexión longitudinal, grietas de flexión transversal en las regiones de momento negativo, corrosión de la armadura de refuerzo, grietas debido a agregados reactivos y daño debido a contaminación química.

- **Juntas**

Los daños en las juntas son causados por impacto vehicular, temperaturas extremas y acumulación de tierra y escombros.

Los daños por escombros y tránsito de vehículos pueden causar que la junta sea rasgada, que los anclajes sean arrancados, o sean removidos totalmente.

Las temperaturas extremas pueden romper la adherencia entre la junta y el tablero y, consecuentemente, repercutir en la remoción total de la junta.

La función primaria de la junta es acomodar la expansión y contracción de la superestructura del puente.





- **Apoyos**

Pueden ser categorizados en dos grupos: metálicos y elastoméricos.

Los apoyos metálicos pueden volverse inoperativos debido a corrosión, acumulación de escombros, u otras interferencias. Apoyos congelados pueden generar flexiones, ondulamientos y alineamiento inapropiado de miembros. Otros tipos de daños son pérdidas de seguros, rotura de soldadura, corrosión en la superficie deslizante.

Los daños en placas de apoyos elastoméricos son: excesivo abultamiento, rompimiento o desgarramiento, corte y falla por corrimiento.

- **Cimentaciones**

Normalmente la inaccesibilidad a la cimentación hace que las posibles fallas tengan que ser detectadas indirectamente, a través de signos en la superestructura o en forma de movimientos excesivos, fisuración, etc.

Por su interés con relación a posibles fallas en la cimentación cabe señalar la utilidad de dos actividades: la nivelación del tablero y las inspecciones subacuáticas.

En los estribos, pilares y sistemas de apoyo generalmente se encuentra una amplia variedad de defectos y deterioros observables, los cuales puedan ser indicios de otros problemas relacionados con la cimentación, estabilidad, infiltración y el mal funcionamiento de apoyos, etc.

- **Superestructura**

La inspección de los elementos de la superestructura y los daños que estos presentan varían notablemente en función al tipo de puente.

- **Dispositivos básicos de protección**

Los dispositivos básicos de protección también necesitan una constante inspección, que comprenden a los siguientes: barreras de concreto, barandas, dispositivos básicos de transición y contención, losas de transición, estribos, cortinas, alas, juntas de dilatación, drenaje, pavimentación, aparatos de apoyo y señalización.

En general se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas para la inspección de un puente:

- **Inspección del cauce**

Con la anticipación a los problemas y tomando adecuadas medidas de protección, se pueden minimizar serias dificultades posteriores. Con ese motivo, es conveniente investigar las siguientes condiciones:

- Si existe adecuado espacio bajo el puente para permitir el paso de las aguas. Los depósitos de arena y/o grava, pueden reducir este espacio.
- Si hay estabilidad y buen comportamiento de los bordes y protección de orillas.
- Posible obstrucción del cauce con maleza, palizadas o crecimiento de plantas que puedan contribuir a la socavación o riesgo posible de incendio.

Un registro del perfil del cauce da información valiosa sobre la tendencia del río a erosionar, cambiar de curso, de gradiente, etc.

El registro debe mantenerse actualizado, particularmente cuando existan variaciones de importancia. Estas indicaciones ayudan a proyectar protecciones a los pilares o estribos, sobre todo a sus cimentaciones.





• Estribos y pilares

Cuando se inspeccionan estribos o pilares de concreto, debe observarse defectos de cualquier tipo. Los más frecuentes son los siguientes:

- Deterioro del concreto en la línea de agua.
- Deterioro del concreto en la zona de los apoyos.
- Grietas en los estribos, especialmente en el encuentro entre el cuerpo y las alas. Estas grietas deben observarse a través del tiempo para ver si aumentan. Cuando estas grietas se pronuncian, indican que hay movimiento estructural que puede ser causado por problemas de cimentación.

• Aparatos de apoyo

Los aparatos de apoyo, sean fijos o móviles, deben ser examinados para asegurar que funcionen debidamente. El mal comportamiento de los apoyos puede ser causa de movimiento de pilares o estribos.

Si existe este tipo de problema debe efectuarse la siguiente inspección:

- Observar si los pernos de anclaje están dañados o si las tuercas necesitan ajuste.
- Verificar si los elementos de expansión permiten el movimiento de acuerdo a su diseño.
- Verificar si hay suciedad o escombros alrededor de los aparatos de apoyo.
- Observar si hay exceso de deformación o rotura en las placas de neopreno.
- Observar los rodillos y su condición de apoyo móvil.
- Los aparatos de apoyo pueden sufrir daños por causa del tráfico pesado, por suciedad acumulada. Si se advierte un mal funcionamiento, debe notificarse de inmediato.

• Vigas y largueros

Estos elementos pueden ser fabricados en madera, acero o concreto. Cada material presenta problemas específicos para su mantenimiento, los cuales deben ser investigados.

- Vigas de madera. - Los defectos más comunes en las vigas de madera son los siguientes:
 - Rajaduras, deterioro, roturas, ataque de insectos y hongos.
 - Falta de tratamiento superficial que permite que se desarrollen grietas longitudinales y se extiendan a todo lo largo de la viga.
 - Aplastamiento en la zona de apoyo que normalmente indica debilitamiento o reducción de capacidad del material.
 - Pérdida de conexiones o de diafragmas entre largueros
- Vigas de acero. - Los siguientes son los defectos más comunes que se presentan en las vigas de acero:
 - Oxidación bajo la zona de las juntas de dilatación.
 - Oxidación de la viga debido a humedad que pasa por grietas del tablero.
 - Deterioro de la pintura.





- Conexiones flojas.
- Corrosión y rajaduras alrededor de remaches y pernos en la unión de elementos de una viga.
- Fisuras en la soldadura y el metal de base.
- Vigas de concreto. - Los defectos más comunes en estas vigas son:
 - Desintegración de la losa de una viga de sección T.
 - Inoperancia de los aparatos de apoyo.
 - Exposición del acero de refuerzo por corrosión.
 - Grietas en los extremos de las vigas.

Cualesquiera de los defectos mencionados con respecto a vigas de concreto, son muy significativos en vigas de concreto pretensado. Si se encuentra una grieta abierta en un elemento pretensado esto debe ser advertido y notificado de inmediato.

• Reticulados

Los reticulados pueden ser clasificados en tres categorías, según su posición respecto al tablero de rodadura: de tablero superior, intermedio o de tablero inferior.

La inspección debe iniciarse observando la línea del sardinel o de la baranda para ver si hay desalineamiento en los elementos tanto en el plano vertical como en el plano horizontal. Cada miembro del reticulado debe ser inspeccionado, incluyendo lo siguiente:

- Observar el alineamiento del reticulado y su gradiente.
- Verificar en los aparatos de los apoyos extremos y en las placas de expansión, que se asegure el libre movimiento.
- Comprobar que los elementos en compresión no estén torcidos.
- Observar si los arriostramientos han sido dañados por el tráfico, o tienen mal comportamiento.
- Examinar la pintura y la extensión de la corrosión, principalmente alrededor de pernos y cabezas de remaches.
- Comprobar si los pines de las conexiones están en su sitio.
- Verificar la existencia de pernos o remaches sueltos faltantes u oxidados.
- Examinar los cordones en tensión, para detectar fisuras, especialmente en las conexiones.
- Observar si hay pérdida de sección por corrosión en el acero.

• Tableros

Los tableros deben examinarse para determinar si hay riesgo de deslizamiento de los vehículos sobre su superficie debido a falta de rugosidad en el piso. Debe observarse que no haya empozamiento de agua por la obstrucción de los drenes. Verificar que estos funcionen sin afectar partes estructurales o al tráfico que pasa en un nivel inferior.

- Tablero de madera. - Deben ser examinados para detectar si hay deterioro en la zona de contacto con los largueros o entre capas de madera laminada. Hay necesidad de mantenimiento cuando hay clavos sueltos, piezas rotas o deterioradas, aberturas que dejan pasar suciedad hacia los pilares o estribos.





- Tableros de acero. - Deben examinarse para ver si hay corrosión o soldaduras en malas condiciones, si hay suciedad acumulada en los pisos de parrilla en las zonas de apoyo sobre largueros o si hay planchas sueltas o si la pintura está deteriorada.
- Tableros de concreto. - Deben examinarse para detectar grietas, descascamientos u otros signos de deterioro. Debe observarse con cuidado el acero de refuerzo para determinar su estado. Las grietas en el concreto permiten que la humedad afecte al acero de refuerzo el cual al oxidarse se expande y causa desprendimiento del concreto.

• Superficie de rodadura

El deterioro en la losa del puente, puede ser causado tanto por agentes naturales como por el incremento de cargas rodantes, así como también por daños producidos por impactos de vehículos y por el tiempo de servicio o período de diseño de vida útil.

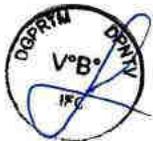
Cualquier tipo de superficie de rodadura puede ocultar los defectos del tablero. Esta superficie debe observarse con mucho cuidado para buscar evidencia del deterioro del tablero. En algunos casos se debe remover pequeñas secciones para facilitar una mejor investigación.

Las acciones del tráfico vehicular inciden directamente en la superficie de rodadura, lo que produce el agotamiento por fatiga o el desgaste de sus componentes. El deterioro por desgaste o abrasión son causados generalmente por el exceso de cargas, descarrilamiento de autos, colisiones del tráfico con las estructuras, etc. Cuando se producen estos daños, aunque no constituyan un peligro inmediato para el buen funcionamiento de la estructura, el Inspector debe registrar en el formato de evaluación, el grado de desgaste que presenta, describiendo los daños, complementando la información con fotografías, de tal manera que se pueda monitorear en caso no hayan sido reparados oportunamente los daños.

• Acceso al puente

Son importantes por su conexión al puente y deben estar a nivel con el tablero. Si la transición no es suave, los efectos del impacto pueden aumentar la energía de las cargas que ingresan al puente, causando daño estructural.

El pavimento de los accesos debe observarse para detectar la presencia de baches, asentamientos o excesiva rugosidad. La junta entre las losas de aproximación y los estribos, diseñada para el movimiento causado por las variaciones de temperatura, debe ser examinada para comprobar su debida abertura y sello apropiado. En la evaluación de los accesos al puente se considerará también el estado de los guardavías, las bermas, taludes y drenaje.





**ANEXO I:
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE
PUENTES**

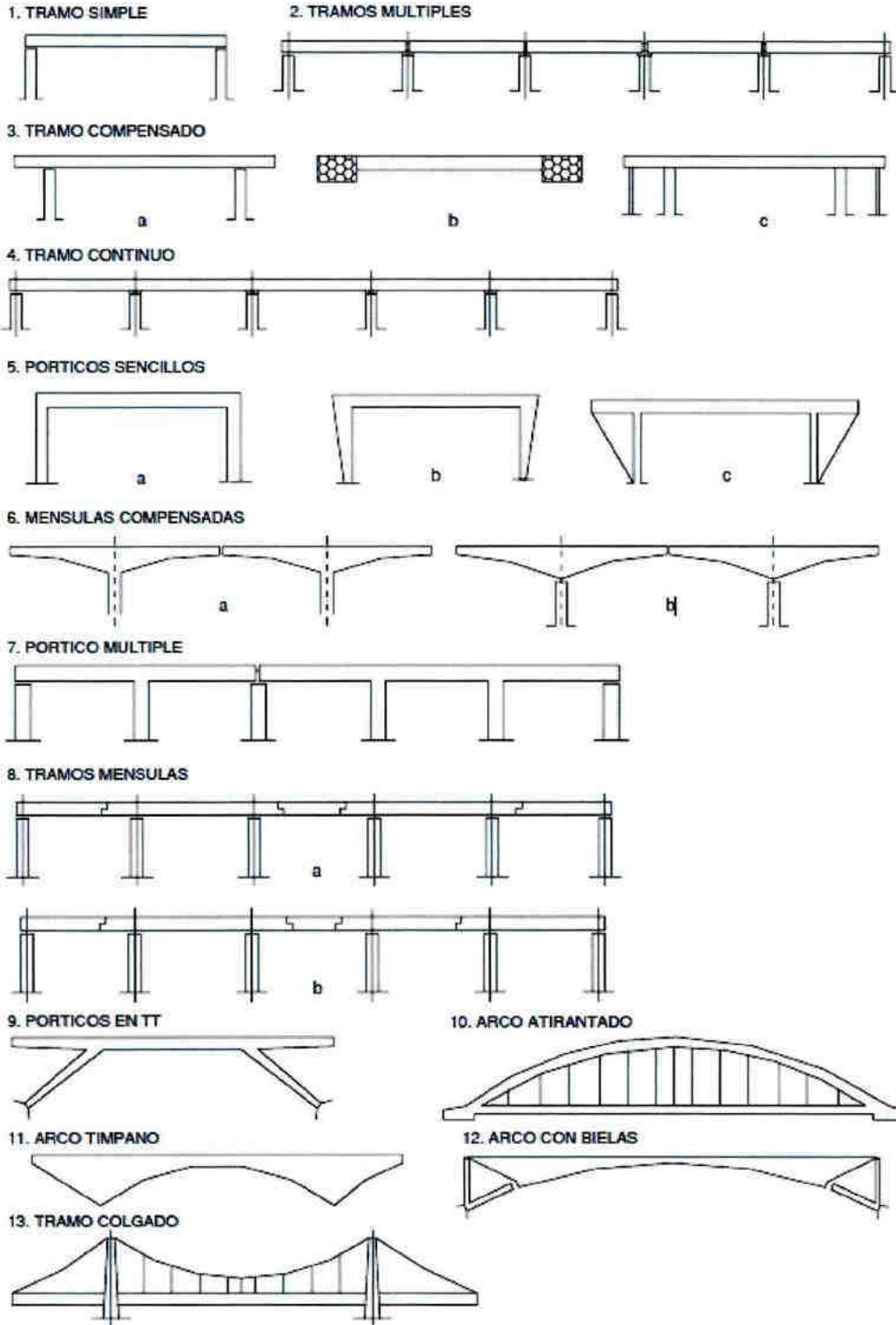
TIPO DE PUENTE	CARACTERÍSTICAS					
	MATERIAL	CONDICIONES BORDE	SECCION TRANSVERSAL	PERALTE h	UBICACIÓN TABLERO	GEOMETRÍA PLANO
LOSA	CONCRETO ARMADO, CONCRETO PRETENSADO	SIMP. APOYADO CONTINUO	LOSA SÓLIDA LOSA NERVADA LOSA CELULAR	CONSTANTE VARIABLE	TABLERO SUPERIOR	RECTO ESVIADO CURVO
LOSA CON VIGAS	VIGA CONC. ARMADO, VIGA CONC. PRETENSADO, VIGA ACERO	SIMP. APOYADO CONTINUO GERBER	VIGA RECTA VIGA I VIGA CAJON	CONSTANTE VARIABLE	TABLERO SUPERIOR	RECTO ESVIADO CURVO
PORTICO	CONCRETO ARMADO, CONCRETO PRETENSADO, ACERO	ARTICULADO EMPOTRADO CON VOLADOS ATIRANTADOS	VIGA RECTA VIGA I VIGA CAJON	CONSTANTE VARIABLE	TABLERO SUPERIOR	RECTO ESVIADO CURVO
ARCO	CONCRETO ARMADO ACERO	ARTICULADOS EMPOTRADO	LOSA VIGAS	CONSTANTE VARIABLE	TAB. SUPERIOR TAB. INTERMEDIO TAB. INFERIOR	RECTO
RETICULADO	ACERO	SIMP. APOYO CONTINUO GERBER	VARIOS	CONSTANTE VARIABLE	TAB. SUPERIOR TAB. INFERIOR	RECTO
COLGANTE	CABLES DE ACERO + ACERO	EN TORRE EN VIGA DE RIGIDEZ	VARIOS	VARIABLE	TAB. INFERIOR	RECTO
ATIRANTADO	CABLES DE ACERO + ACERO	EN CABLES EN TORRE EN VIGA DE RIGIDEZ SIMP. APOYADO	VARIOS	VARIABLE	TAB. INFERIOR	RECTO
MODULAR	ACERO	EN CABLES EN TORRE EN VIGA DE RIGIDEZ SIMP. APOYADO	VARIOS	VARIABLE	TAB. INFERIOR	RECTO
ALCANTARILLA	CONCRETO ACERO	SOBRE TERRENO	CELULAR (1 o MAS) SUPERSPAN (1 o MAS)	CONSTANTE	TAB. SUPERIOR	RECTO ESVIADO





ANEXO II GRÁFICOS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PUENTES

A2.1. CLASIFICACIÓN POR ESTRUCTURA LONGITUDINAL

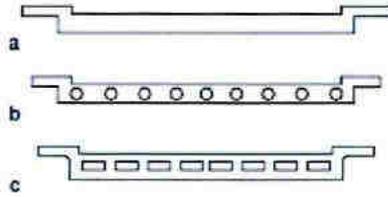




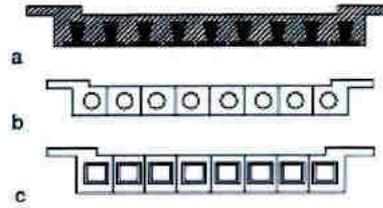
A2.2. CLASIFICACIÓN POR ESTRUCTURA TRANSVERSAL

1. TABLERO DE LOSA

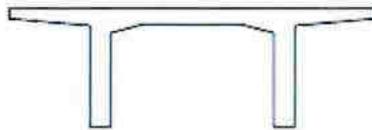
CONSTRUCCION IN SITU



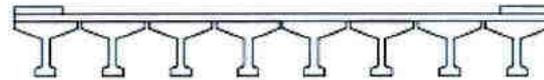
2. PREFABRICADOS



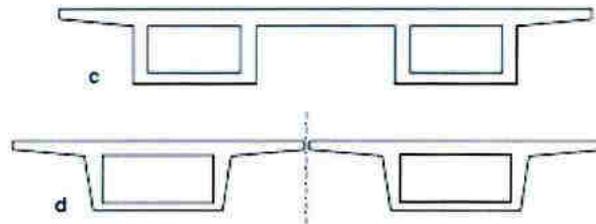
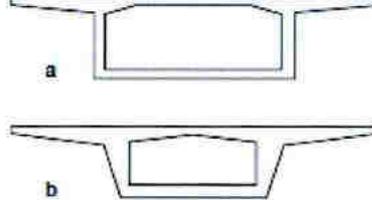
3. TABLERO SUPERIOR IN SITU



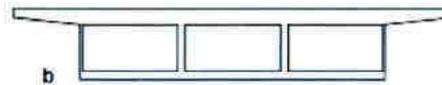
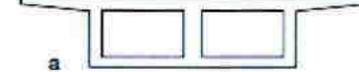
4. TABLERO SUPERIOR PREFABRICADO



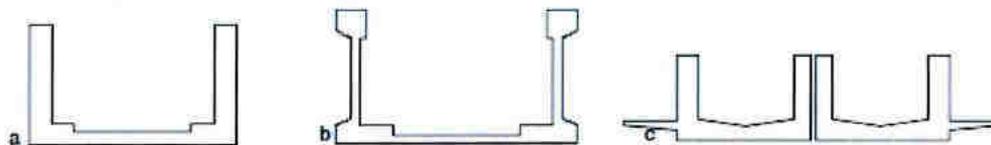
5. SECCION CAJON



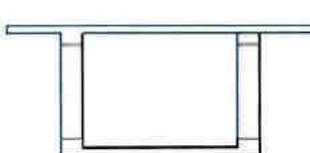
6. SECCION ALVEOLAR



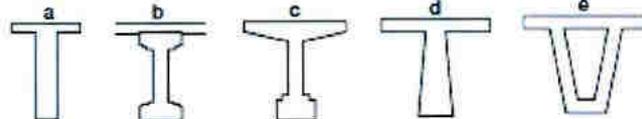
7. TABLERO INFERIOR



8. DOBLE TABLERO



9. VIGAS





PERÚ

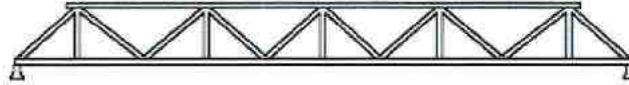
Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal

A2.3. CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MATERIAL

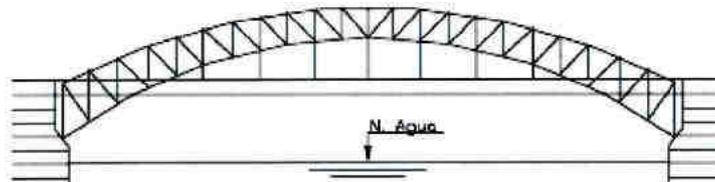
1.- PUENTES METALICOS



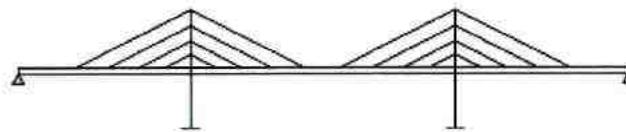
a) Simplemente Apoyado



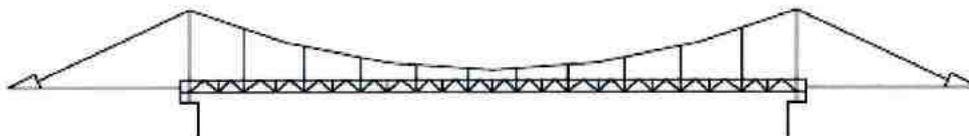
b) Continuo



c) Arco



d) Atirantado

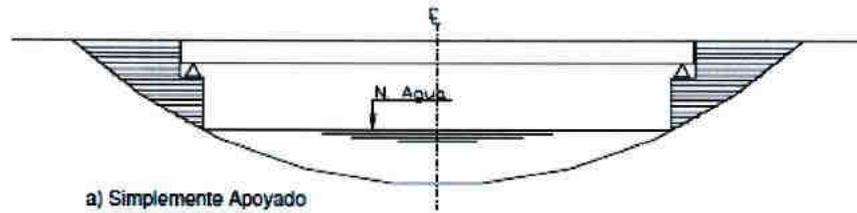


e) Colgante

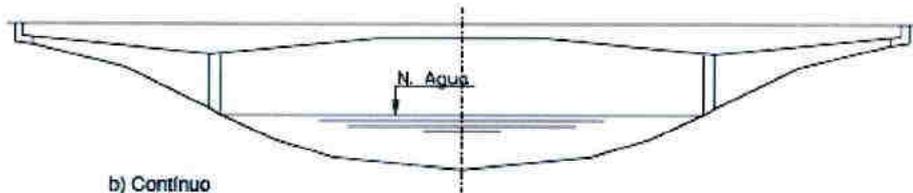




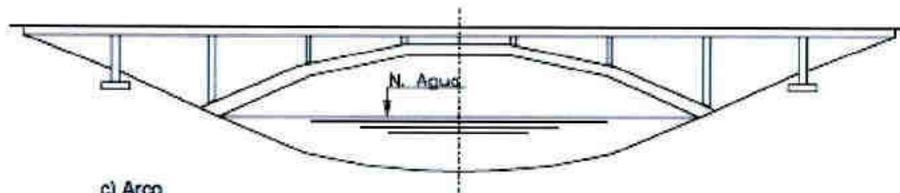
2.- PUENTES DE CONCRETO



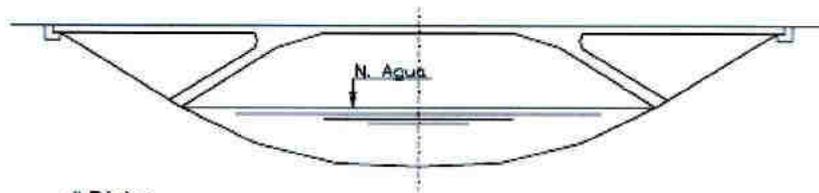
a) Simplemente Apoyado



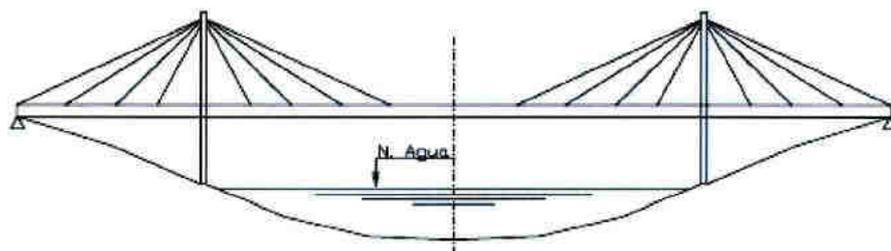
b) Continuo



c) Arco



d) Pórtico



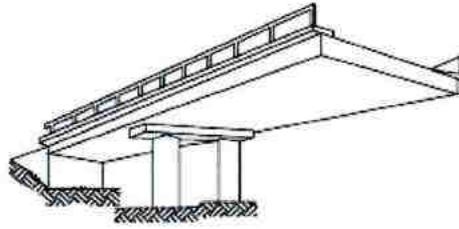
e) Atirantado





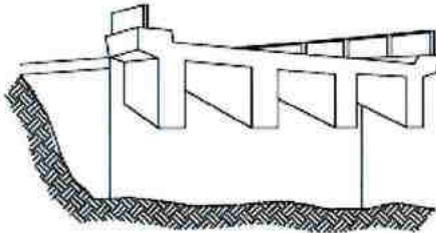
A2.4. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PUENTES

1.- SUPERESTRUCTURA TIPO LOSA

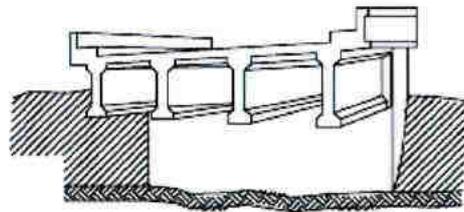


PUENTE LOSA

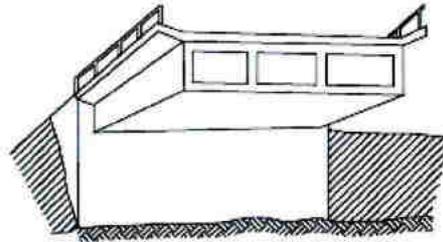
2.- SUPERESTRUCTURA TIPO LOSA CON VIGAS



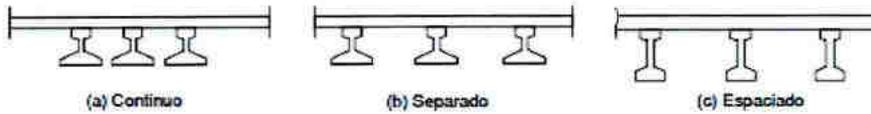
PUENTE LOSA CON VIGA C.A.



PUENTE LOSA CON VIGA EN C'PRETENSADO



PUENTE VIGA CAJON

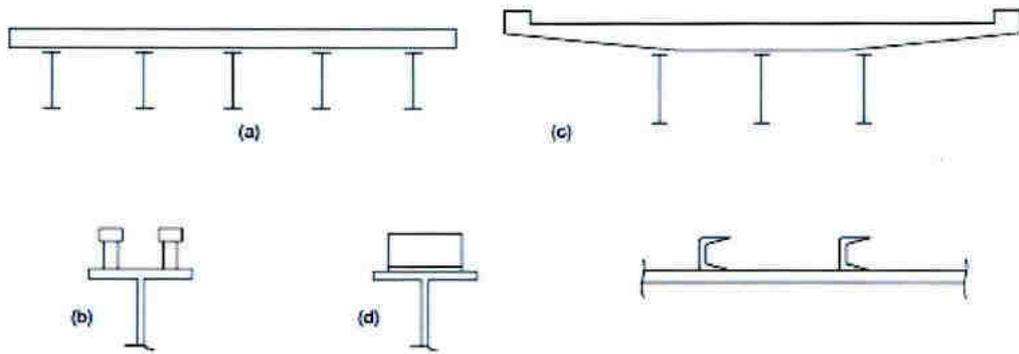


VIGA Y LOSA DE CONCRETO PRETENSADO



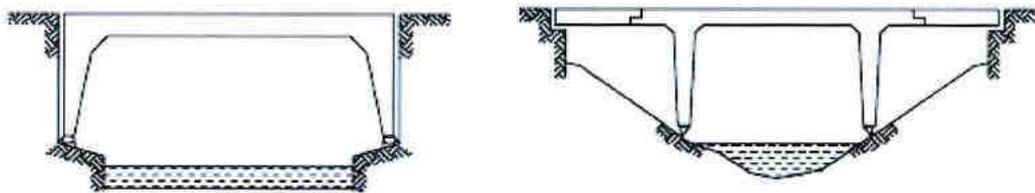
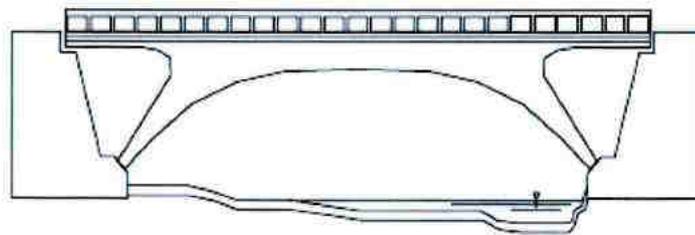
VIGA Y LOSA DE CONCRETO REFORZADO



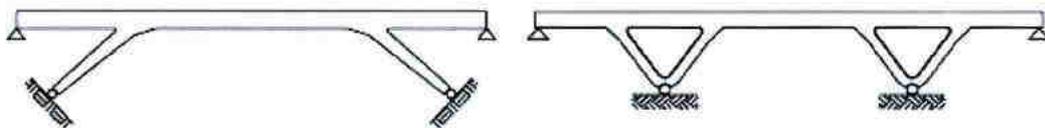


VIGA DE ACERO Y LOSA (PLATE GIRDER)

3.- PUENTE TIPO PORTICO



(a) Porticos Tipo Marco

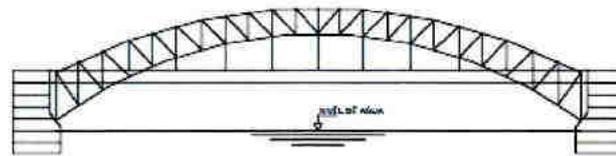
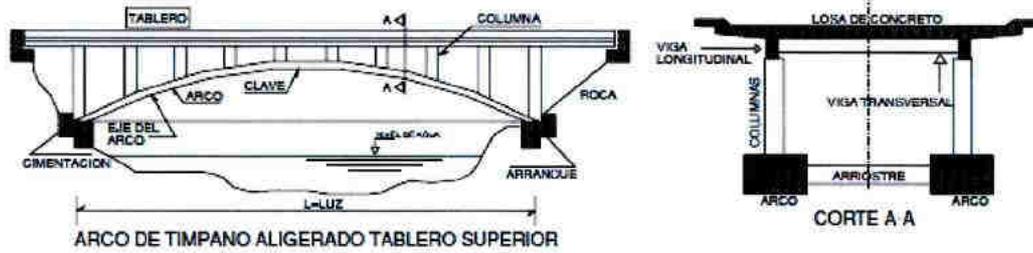


(b) Pórticos Jabalconados



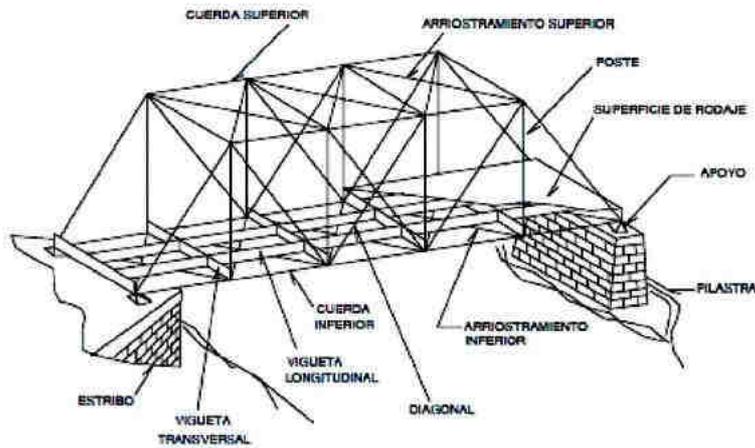


4.-PUENTES TIPO ARCO EN CONCRETO Y ACERO



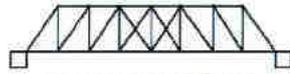
ARCO DE ACERO TABLERO INTERMEDIO

5.-PUENTE RETICULADO METALICO DE TABLERO INFERIOR

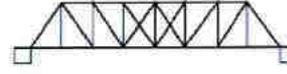




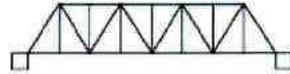
RETICULADOS SIMPLEMENTE APOYADOS



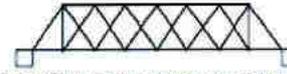
THROUGH HOWE TRUSS
Tijeral Howe



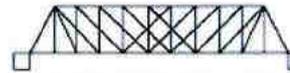
THROUGH PRATT TRUSS
Tijeral Pratt



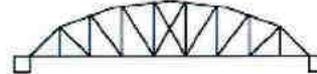
THROUGH WARREN TRUSS
Tijeral Warren



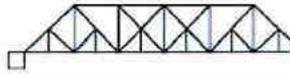
QUADRANGULAR THROUGH WARREN TRUSS
Tijeral Warren Triangular-Cuadrangular



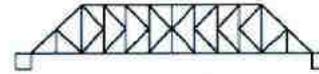
THROUGH WHIPPLE TRUSS
Tijeral Whipple



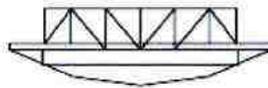
CAMEL BACK TRUSS
Tijeral de Cordon Superior Arqueado



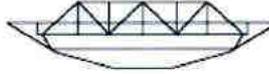
THROUGH BALTIMORE TRUSS
Tijeral Baltimore



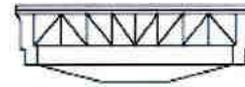
K TRUSS
Tijeral K



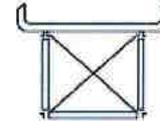
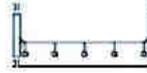
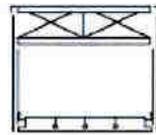
THROUGH TRUSS
Armadura de Tablero Inferior



PONY TRUSS
Armadura sin Arriostamiento Superior



DECK TRUSS
Armadura de Tablero Superior



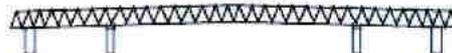
RETICULADOS CONTINUOS



Variable Depth Cantilever
Voladizo de Profundidad Variable



Deck Truss
Armadura de Tablero Superior



Warren Truss Without Verticals
Armadura Warren sin Montantes



Camelback Truss
Armadura de Cordon Superior Arqueado

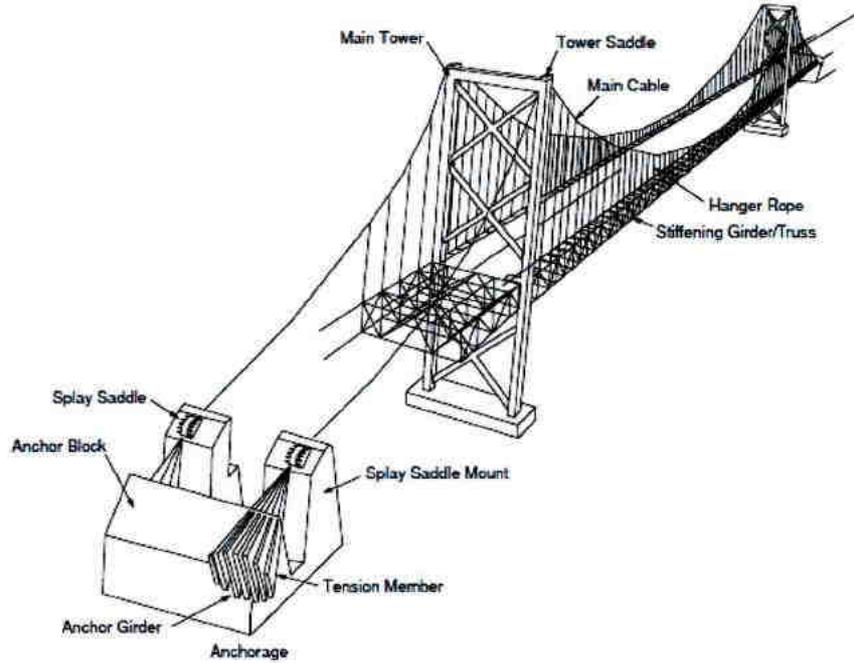
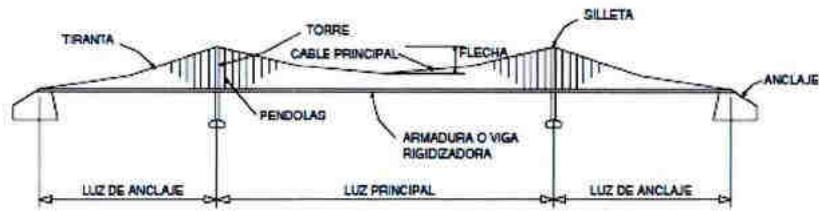


Half-through Truss
Armadura Semitransversal

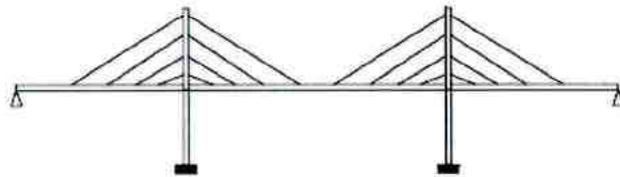




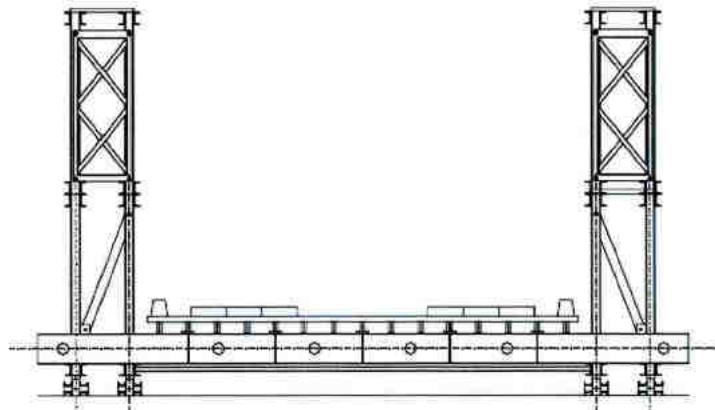
6.- PUENTE COLGANTE CON FIADORES CARGADOS



7.- CABLE - STAYED BRIDGES



8.- PUENTE MODULAR

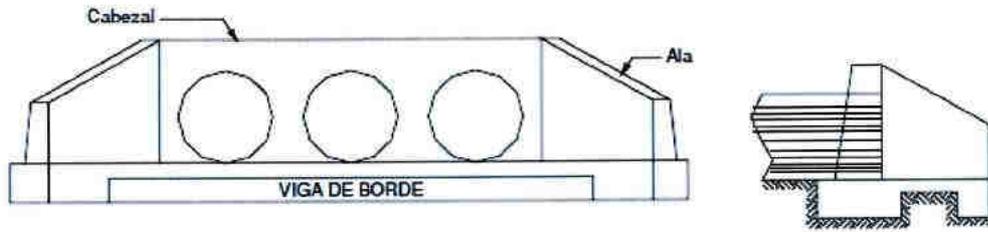


MODULAR BAILEY DISPOSICION DOBLE DOBLE TABLERO DE MADERA

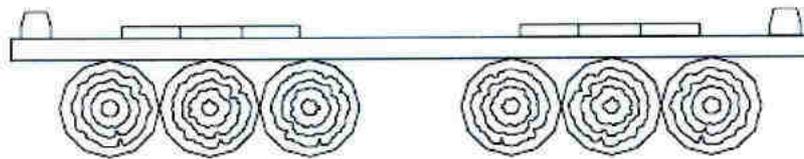




9.- ALCANTARILLAS TMC O SUPER SPAN

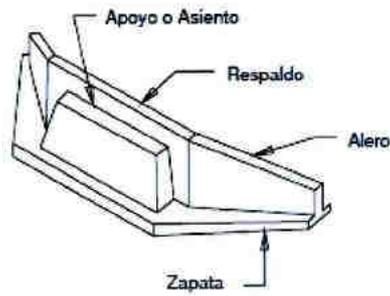


10.- PUENTE DE VIGAS DE MADERA

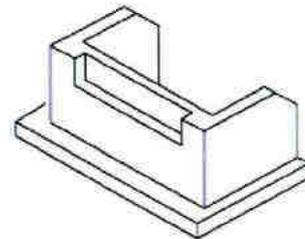


11.- SUBESTRUCTURAS

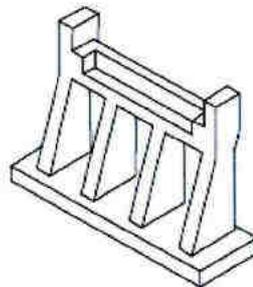
11.1 ESTRIBOS



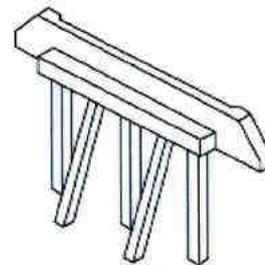
(a)



(b)



(c)

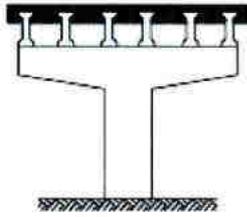


(d)

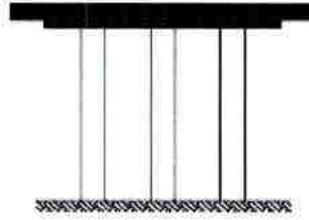




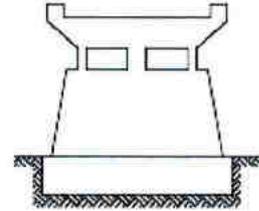
11.2 PILARES



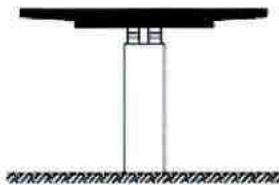
PILAR EN T



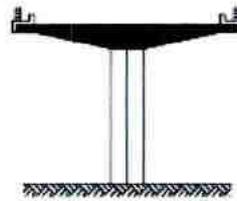
PILAR DE 3 COLUMNAS



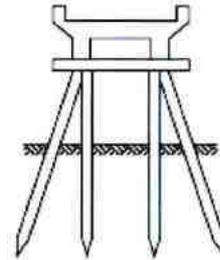
PILAR MURO



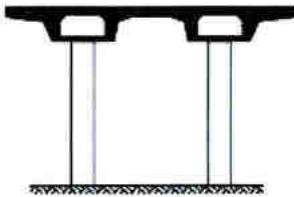
PILAR COLUMNA



PILAR COLUMNA



PILAR CEPA



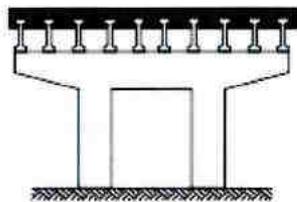
PILAR DE 2 COLUMNAS



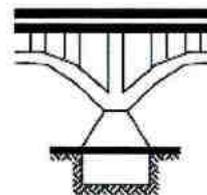
PILAR TIPO PLACA



PILAR CELOSIA



PILAR TIPO PORTICO

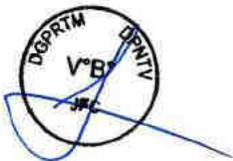
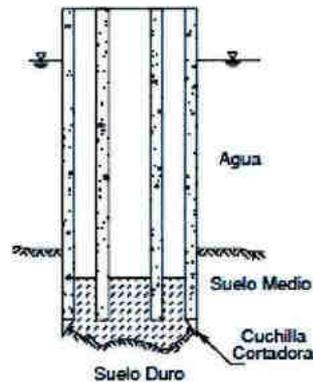
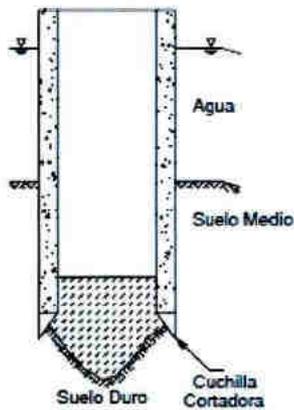
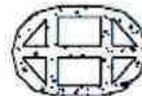
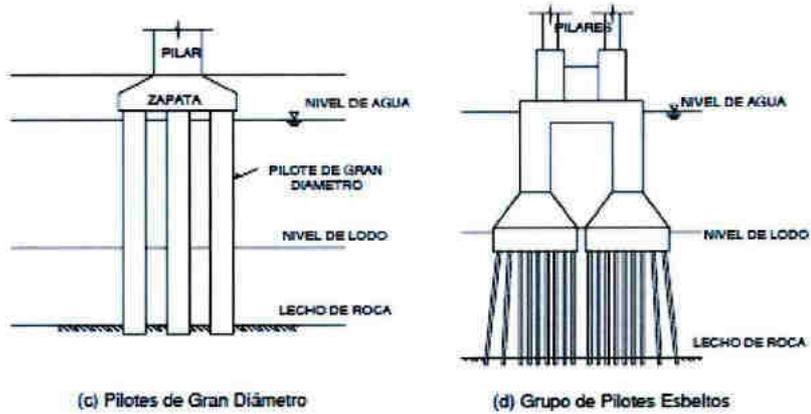
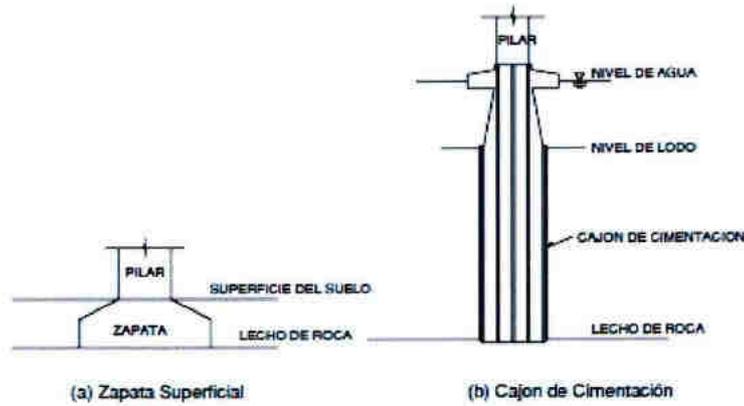


PILAR EN ARCO



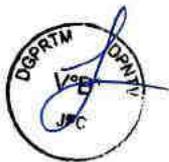


11.3 CIMENTACIONES PROFUNDAS



**ANEXO III**
TOMA DE DATOS DE LA INSPECCIÓN

- Elemento N° 101 Losa de concreto armado (Refuerzo Longitudinal)
- Elemento N° 104 Losa de concreto armado (Refuerzo Transversal)
- Elemento N° 102 Losa de concreto pretensado (Pretensado Longitudinal)
- Elemento N° 105 Losa de concreto pretensado (Pretensado Transversal)
- Elemento N° 103 Losa de concreto Simple
- Elemento N° 106 Plancha Metálica Corrugada
- Elemento N° 107 Tablero de Madera
- Elemento N° 110 Viga Principales concreto armado
- Elemento N° 111 Vigas Secundarias de concreto armado
- Elemento N° 112 Vigas Principales de concreto pretensado
- Elemento N° 113 Vigas Secundarias de concreto pretensado
- Elemento N° 114 Vigas Principales de Acero Estructural
- Elemento N° 115 Vigas Secundarias de Acero
- Elemento N° 161 Vigas Transversales y Largueros de Acero
- Elemento N° 116 Vigas de Madera
- Elemento N° 117 Arriostres de Acero
- Elemento N° 131 Columnas de concreto armado
- Elemento N° 132 Columnas de concreto pretensado
- Elemento N° 133 Columna de acero estructural
- Elemento N° 134 Muros de Concreto Armado
- Elemento N° 135 Muros de Concreto Simple
- Elemento N° 136 Tirante de Concreto Pretensado en pórticos
- Elemento N° 145 Arco de concreto armado
- Elemento N° 146 Arco de acero estructural
- Elemento N° 160 Bridas superior e inferior, Montantes y Diagonales de Acero
- Elemento N° 168 Estructura Metálica Bailey
- Elemento N° 180 Cables Principales de Acero
- Elemento N° 181 Barras de Anclaje en puentes colgantes
- Elemento N° 182 Torres de Acero
- Elemento N° 183 Péndolas de Acero con Sockets
- Elemento N° 184 Accesorios (Sillas de Montar, Montura de Péndolas) en puentes colgantes
- Elemento N° 185 Vigas de Rigidez
- Elemento N° 186 Arriostres de Acero
- Elemento N° 190 Losa de concreto Simple
- Elemento N° 191 Losa de concreto armado (Refuerzo Longitudinal)
- Elemento N° 192 Muros de Concreto Simple
- Elemento N° 193 Muros de Concreto Armado Alcantarilla
- Elemento N° 196 Plancha Metálica Corrugada (TMC)
- Elemento N° 201 Elevación Cuerpo del Estribo de Concreto Simple
- Elemento N° 204 Elevación Alas del Estribo Concreto Simple
- Elemento N° 240 Elevación de Pilares Concreto Simple
- Elemento N° 202 Elevación Cuerpo del Estribo de Concreto Armado
- Elemento N° 205 Elevación Alas del Estribo Concreto Armado
- Elemento N° 241 Elevación de Pilares Concreto Armado
- Elemento N° 203 Elevación Cuerpo del Estribo Madera
- Elemento N° 206 Elevación Alas del Estribo Madera
- Elemento N° 207 Elevación Cuerpo del Estribo de Mampostería de Piedra



**RELACIÓN DE ELEMENTOS**

- Elemento N° 208 Elevación Alas del Estribo Mampostería de Piedra
Elemento N° 215 Zapata de Concreto Simple
Elemento N° 216 Zapata de Concreto Armado para Estribos
Elemento N° 217 Zapata de Mampostería de Piedra
Elemento N° 220 Caisson de Concreto Simple
Elemento N° 221 Caisson de Concreto Armado
Elemento N° 230 Pilotes de Concreto Armado
Elemento N° 231 Pilotes de Concreto Estructural
Elemento N° 232 Pilotes de Madera
Elemento N° 242 Elevación de Pilares de Madera
Elemento N° 301 Capa Asfalto
Elemento N° 302 Capa Concreto Pobre
Elemento N° 303 Tablones de Madera
Elemento N° 311 Vereda Concreto
Elemento N° 313 Vereda de Madera
Elemento N° 321 Apoyo fijo Neopreno
Elemento N° 322 Apoyo deslizante de neopreno
Elemento N° 323 Apoyo deslizante de acero
Elemento N° 325 Apoyo Roller Acero
Elemento N° 326 Apoyo Rocker Acero
Elemento N° 324 Apoyo articulado de acero
Elemento N° 327 Apoyo articulado Concreto
Elemento N° 328 Apoyo Rocker de Concreto
Elemento N° 329 Apoyo Eslabón y Pin (Vigas Gerber)
Elemento N° 341 Planchas Deslizantes
Elemento N° 342 Tipo Peine
Elemento N° 343 Tipo Comprensible / Expandible Celular
Elemento N° 344 Junta de Expansión, Tipo Comprensible / Expandible Sólido
Elemento N° 351 Barandas de Madera
Elemento N° 352 Barandas de Concreto
Elemento N° 353 Barandas de Acero
Elemento N° 354 Parapeto de Concreto Armado
Elemento N° 355 Guardavías
Elemento N° 401 Márgenes del río
Elemento N° 402 Lecho del río
Elemento N° 406 Enrocado
Elemento N° 410 Muro de Concreto Simple
Elemento N° 411 Muro de Concreto Armado - Cauce
Elemento N° 412 Solado Concreto Simple
Elemento N° 413 Solado Concreto
Elemento N° 501 Señalización
Elemento N° 503 Muro de Concreto Simple - Accesos
Elemento N° 504 Muro de Concreto Armado en accesos
Elemento N° 505 Zapata de Concreto Simple en muros de contención
Elemento N° 506 Zapata de Concreto Armado
Elemento N° 526 Alcantarilla de Planchas Corrugada TMC





PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal

ANEXO III-A DATOS DE LA INSPECCIÓN

1) IDENTIFICACION Y UBICACIÓN			
Nombre Puente:		Tramo:	
Tipo Puente:		Dpto. Político:	
Sobre (*):		Dpto. Vial:	
Altitud (msnm):		Provincia:	
Latitud (grado, min):		Distrito:	
Longitud (grado, min):		Poblado más Cercano:	
Ruta:		Kilometraje:	
2) DATOS GENERALES			
Puente Sobre:		Nombre:	
Longitud Total (m):		Numero Vías Tránsito:	
Ancho Calzada (m):		Sobrecarga Diseño:	
Ancho Vereda (m):		Numero Proyecto:	
Altura Libre Superior (m):		Año Construcción:	
Altura Libre Inferior (m):		Ultima Inspección (dd/mm/aa):	
Tipo Servicio:		Ultimo Trabajo:	
Tráfico (veh/día):		% Camiones y Buses:	
Año:		Alineamiento:	
Condiciones Ambientales:			
3) TRAMOS			
Numero Tramos:	Longitud Total:	Longitudes Restantes:	
Tramos:	Longitud Segundo Tramo (m):		
Luz Principal (m):	Longitud Tercer Tramo (m):		
TRAMO 1 (Principal) Categoría/Tipo:		TRAMO 2 Categoría/Tipo:	
Características Secundarias:		Características Secundarias:	
Condición Borde:		Condición Borde:	
Material Predominante:		Material Predominante:	
4) TABLERO DE RODADURA			
LOSA Material:		VIGAS Tipo:	
Espesor (m):		N° Vigas:	
Superficie de Desgaste:		Material:	
		Forma:	
		Peralte (m):	
		Separación entre Ejes:	
5) SUBESTRUCTURA			
ESTRIBO IZQUIERDO		ESTRIBO DERECHO	
Elevación / Tipo:		Elevación / Tipo:	
Elevación / Material:		Elevación / Material:	
Cimentación / Tipo:		Cimentación / Tipo:	
Cimentación / Material:		Cimentación / Material:	
6) PILARES			
PILAR 1	PILAR 2	PILAR 3	PILAR 4
Elevación / Tipo:	Elevación / Tipo:	Elevación / Tipo:	Elevación / Tipo:
Elevación / Material:	Elevación / Material:	Elevación / Material:	Elevación / Material:
Cimentación / Tipo:	Cimentación / Tipo:	Cimentación / Tipo:	Cimentación / Tipo:
Cimentación / Material:	Cimentación / Material:	Cimentación / Material:	Cimentación / Material:
(*) Sobre río quebrada carretera línea férrea, etc.			





PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal

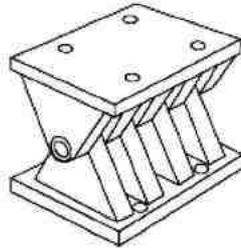
7) MACIZOS/CAMARAS DE ANCLAJE			
IZQUIERDO		DERECHO	
Elevación / Tipo:		Elevación / Tipo:	
Elevación / Material:		Elevación / Material:	
Cimentación / Tipo:		Cimentación / Tipo:	
Cimentación / Material:		Cimentación / Material:	
8) DETALLES			
BARANDAS		VEREDAS Y SARDINELES	
Tipo:		Ancho Vereda (m):	
Material:		Altura Sardinela (m):	
		Material:	
APOYO 1	APOYO 2	APOYO 3	APOYO 4
Tipo:	Tipo:	Tipo:	Tipo:
Material:	Material:	Material:	Material:
Ubicación:	Ubicación:	Ubicación:	Ubicación:
Número:	Número:	Número:	Número:
JUNTAS DE EXPANSION		DRENAJE DE CALZADA	
Tipo:		Tipo:	
Material:		Material:	
9) ACCESOS			
ACCESO IZQUIERDO		ACCESO DERECHO	
Longitud Transición (m):		Longitud Transición (m):	
Alineamiento:		Alineamiento:	
Ancho de Calzada (m):		Ancho de Calzada (m):	
Ancho Total Bermas (m):		Ancho Total Bermas (m):	
Pendiente Alta:		Pendiente Alta:	
Visibilidad:		Visibilidad:	
10) SEGURIDAD VIAL			
ACCESO IZQUIERDO		ACCESO DERECHO	
Señal Informativa:		Señal Informativa:	
Señal Preventiva:		Señal Preventiva:	
Señal Reglamentaria:		Señal Reglamentaria:	
Señal Horizontal:		Señal Horizontal:	
Barreras de contención:		Barreras de contención:	
Iluminación:		Iluminación:	
Visibilidad:		Visibilidad:	
11) SOBRECARGA			
Carga de Diseño:		Carga Máxima Actual:	
Sobreesfuerzo:		Señalización de Carga:	
12) RUTA ALTERNA			
Tipo Otras Rutas:			
VADO		PUENTE PARALELO	
Distancia de Puente (Km):		Posibilidad de Construir:	
Periodo de Funcionamiento (meses):		Longitud Total (m):	
Profundidad de Aguas Mínimas (m):		Subestructura:	
Naturaleza del Suelo:		Tipo:	
Variante Existe:			
Necesidad de Construirlo:			
13) CONDICION DEL SECTOR DE LA CARRETERA			
Condición de la Carretera:			



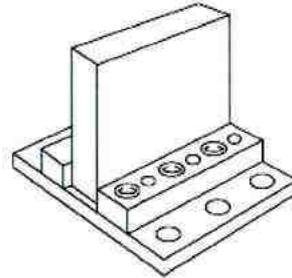


ANEXO IV DETALLES GRÁFICOS DE ELEMENTOS A INSPECCIONAR

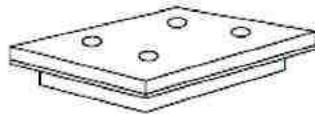
1.-APARATOS DE APOYO DE ACERO



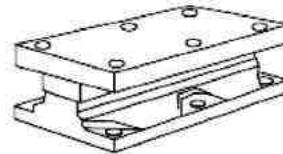
TIPO ARTICULADO
(Para grandes rotaciones, permite resistir gran carga horizontal)



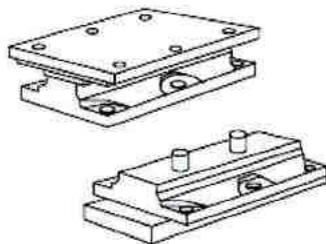
TIPO GUIA (PLACA)
(Para deslizamiento libre, permite resistir gran carga horizontal)



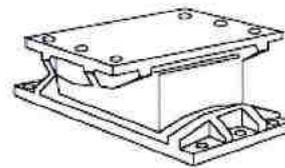
TIPO PLANCHA DESLIZANTE
(Solo traslación)



TIPO ROCKERS LINEAL FIJO
(Solo traslación y rotación alrededor de un eje)

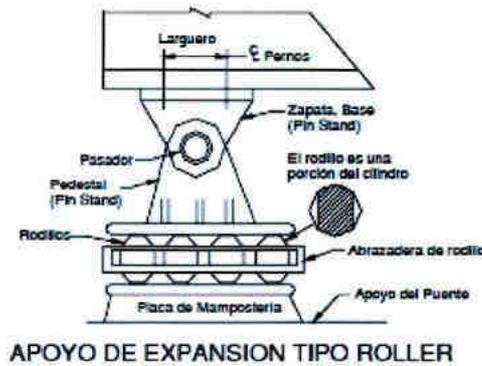
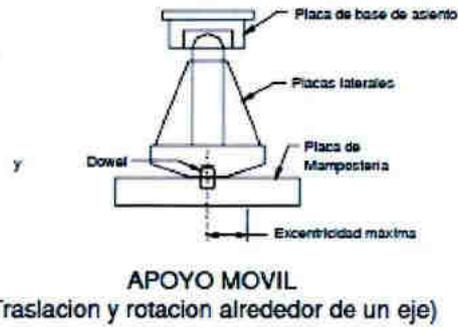
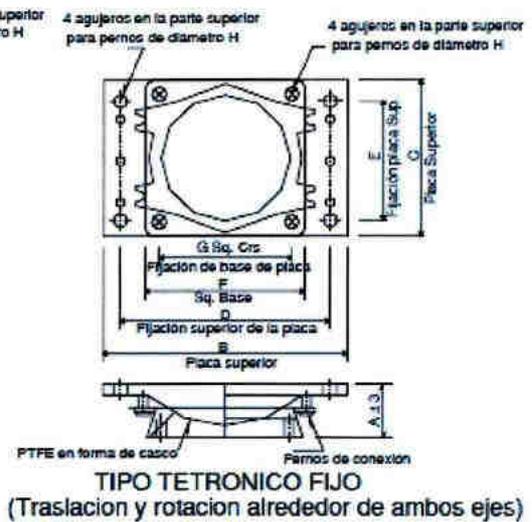
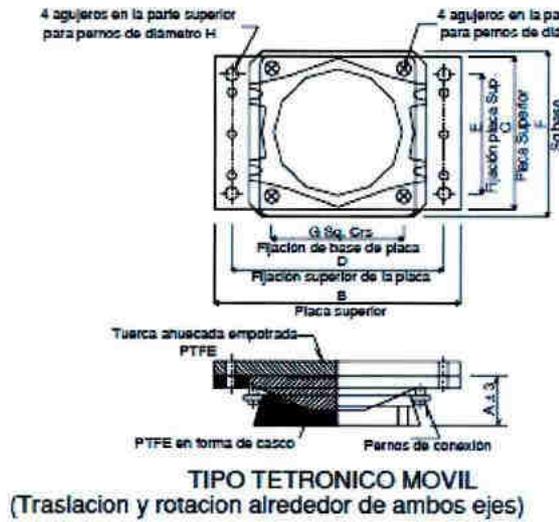


TIPO ROCKERS MODIFICADO
(Traslación y rotación alrededor de un eje)



TIPO ROCKERS
(Traslación y rotación alrededor de ambos ejes)



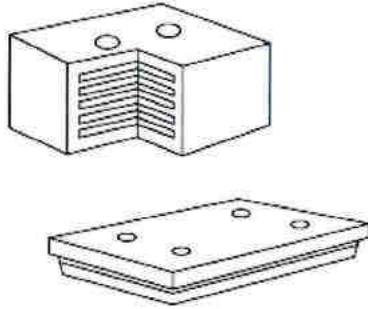


OTRAS DISPOSICIONES DE APOYOS DE ACERO



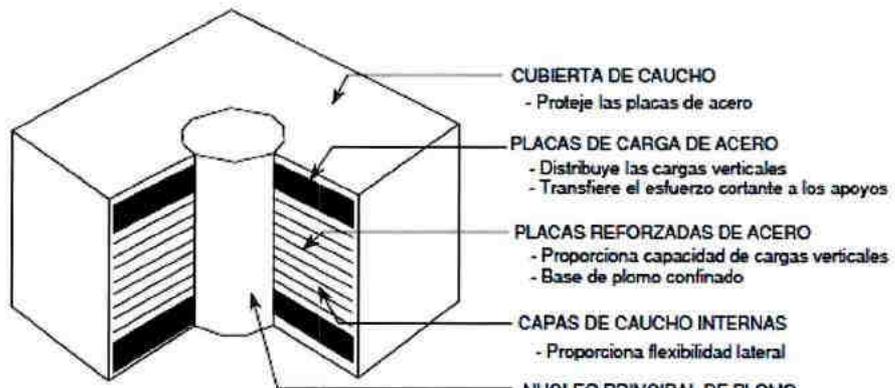


2.- APARATOS DE APOYO DE NEOPRENO



TIPO ALMOHADA NEOPRENO REFORZ.
(Provee rotación y traslación en ambos ejes)

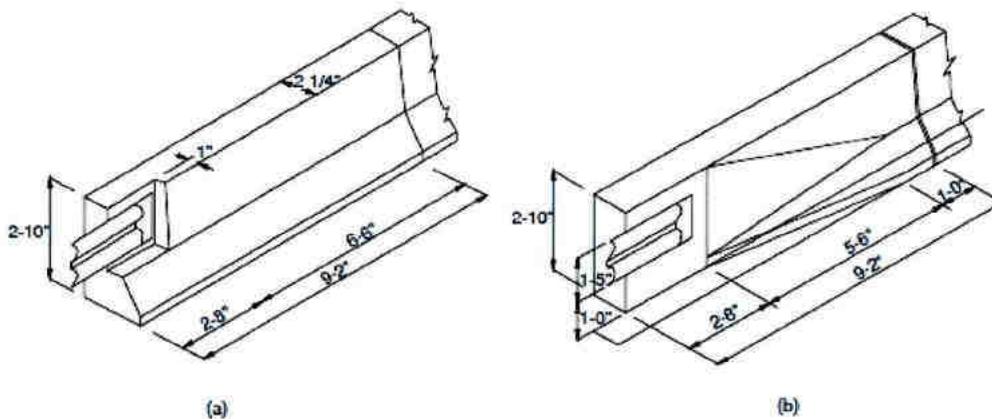
3.- APARATOS DE APOYO DE NEOPRENO CON ALMA DE PLOMO



- CUBIERTA DE CAUCHO
 - Proteje las placas de acero
- PLACAS DE CARGA DE ACERO
 - Distribuye las cargas verticales
 - Transfiere el esfuerzo cortante a los apoyos
- PLACAS REFORZADAS DE ACERO
 - Proporciona capacidad de cargas verticales
 - Base de plomo confinado
- CAPAS DE CAUCHO INTERNAS
 - Proporciona flexibilidad lateral
- NUCLEO PRINCIPAL DE PLOMO
 - Proporciona resistencia al viento
 - Reduce la fuerza del sismo y desplazamiento por disipación de la energía (amortiguamiento)

TIPO ALMOHADA NEOPRENO CON ALMA DE PLOMO
(Disipación por lazos histeréticos)

4.- BARANDAS

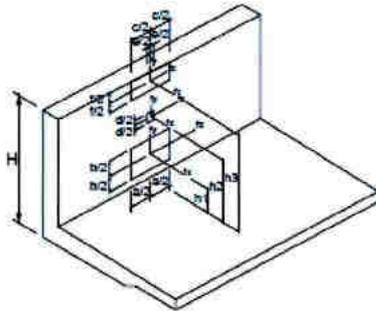


1 Pulg. = 25.4 mm
1 Pie = 0.3048 m

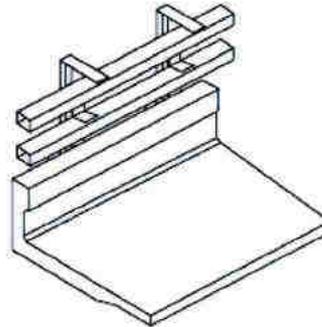




BARANDAS TIPO PARAPETO (TIPO NEW JERSEY)

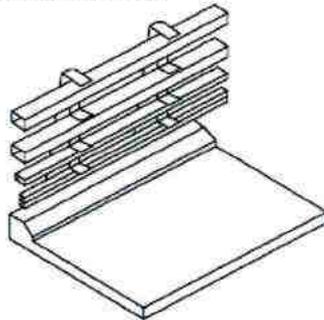


CONCEPT A

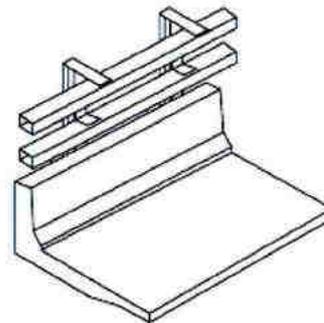


CONCEPT B

H' - Altura total de barandas



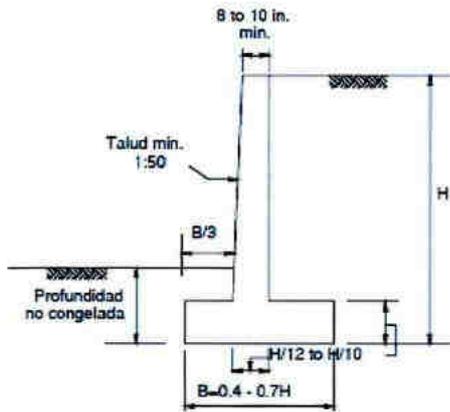
CONCEPT C



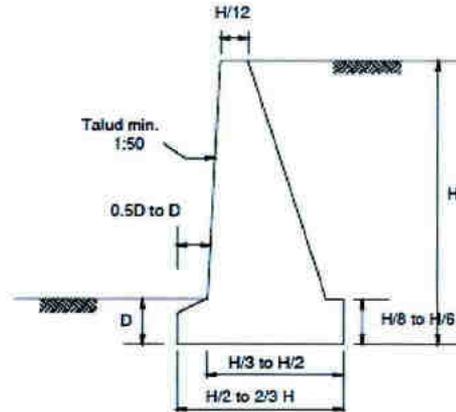
CONCEPT D

BARANDAS MIXTAS PARAPETO + POSTE CON PASAMANO

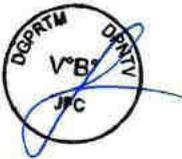
5.- MUROS DE CONTENCIÓN



MURO EN VOLADIZO



MURO DE CONTENCIÓN DE GRAVEDAD

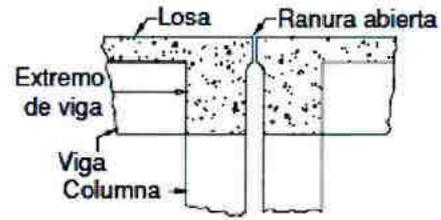




6.- JUNTAS DE DILATACION



(h) MURO DOBLE O SERIE DE COLUMNAS DOBLES



(i) COLUMNAS DOBLES

JUNTAS CERRADAS

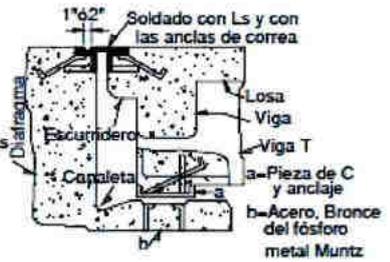


(a) JUNTA CERRADA PARA EXTREMO FIJO O EXPANSION PEQUENA

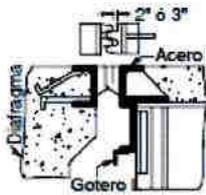


(b) JUNTA ABIERTA DRENANTE PARA EXTREMO FIJO O EXPANSION PEQ.

JUNTAS ABIERTAS



(c) JUNTA ARMADA PARA EXPANSIONES MODERADAS, CANALETAS PARA DRENAJE



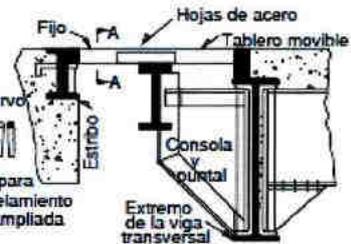
(d) JUNTA DENTADA PARA EXPANSIONES MODERADAS



(e) ARMAZON FLOTANTE PARA PERMITIR DEFLEXIONES VERTICALES

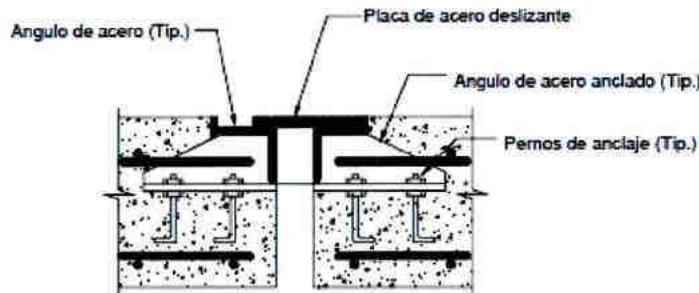


(f) LOSA FLOTANTE PARA EXPANSIONES PEQUEÑAS



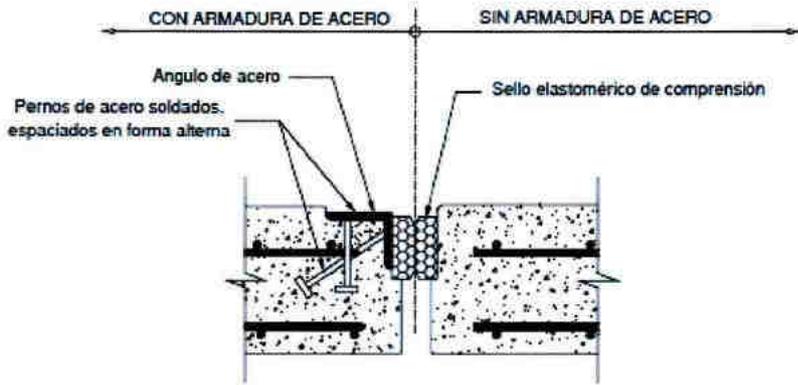
(g) JUNTAS DENTADAS PARA PUENTES QUE REQUIEREN EXPANSIONES GRANDES

6.1 JUNTAS CON POCO RANGO DE MOVIMIENTO

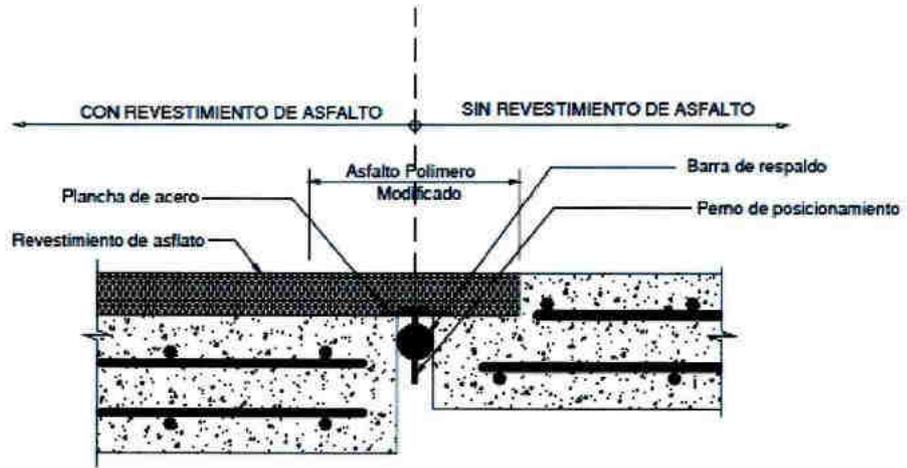


a) TIPO PLANCHAS DESLIZANTES



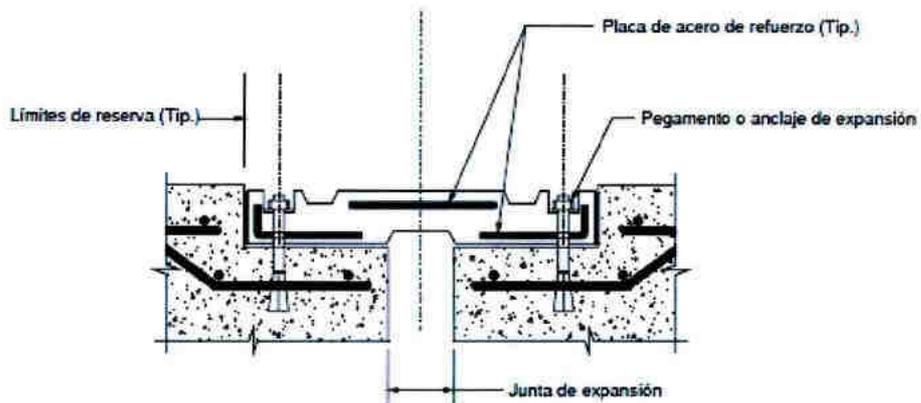


b) JUNTA SELLADA DE COMPRESION

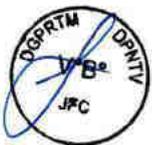


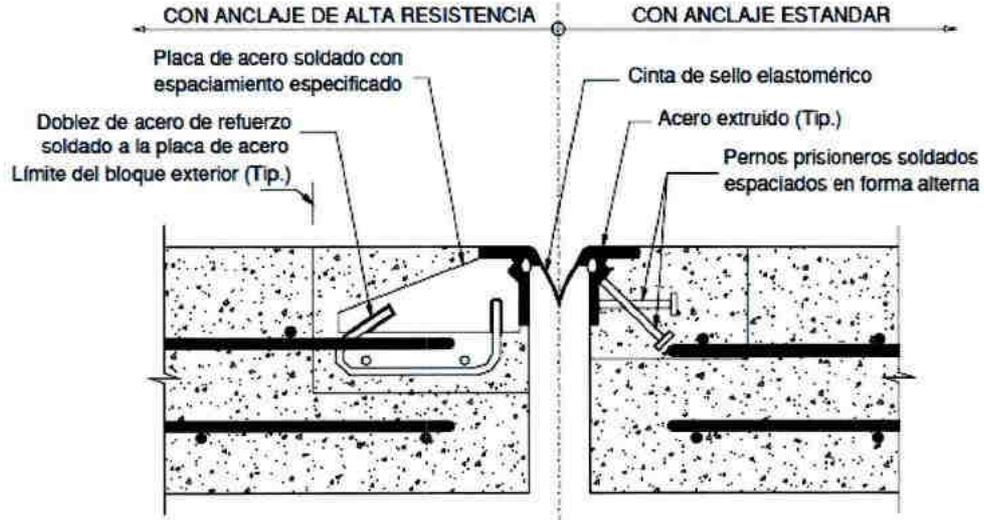
c) JUNTA SELLADA DE ASFALTO

6.2 JUNTAS CON MEDIANO RANGO DE MOVIMIENTO

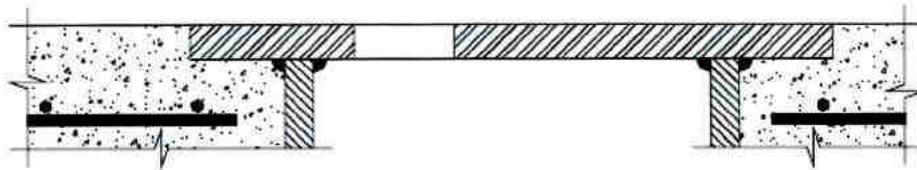
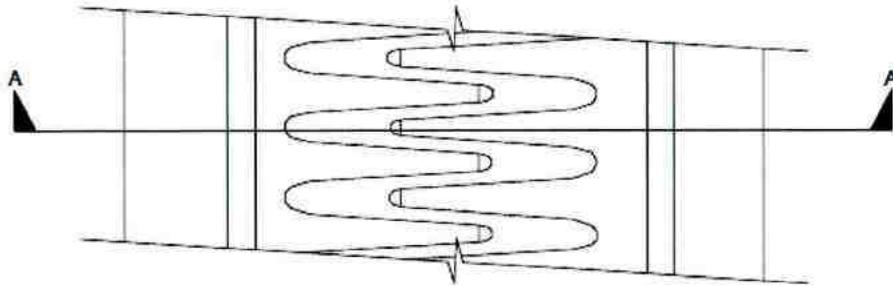


a) JUNTA PANEL BOLT-DOWN





b) JUNTA CERRADA CON PERFIL ELASTOMERICO



c) JUNTA TIPO PEINE





ANEXO V

DEFECTOS Y PROBLEMAS DE LOS PUENTES

A5.1. DEFECTOS EN LOS PUENTES

El deterioro causado por los agentes naturales es común en todas las obras de la ingeniería civil, los fenómenos como lluvias torrenciales, huaycos, sismos, así como también las colisiones o impactos provocados, producen sin duda situaciones de emergencia, como asentamientos, erosiones, socavaciones, etc., que deben evaluarse inmediatamente.

Los defectos que ocurren con más frecuencia en puentes construidos con estructura de madera o de concreto se clasifican según dos aspectos básicos: (i) funcionales y (ii) estructurales, tipificados de la siguiente manera:

A5.1.1 DEFECTOS FUNCIONALES

Son aquellos que comprometen la finalidad principal de la obra, que es la de permitir el paso del caudal del curso de agua y proporcionar un paso seguro a los usuarios. Existen los siguientes tipos de problemas: (i) materiales depositados en el cauce del río que ponen en riesgo la estabilidad de la estructura, (ii) desniveles ubicados junto a las superficies de las cabeceras de los puentes, (iii) barandas y guarda-ruedas dañados que ponen en riesgo la seguridad del usuario y, por último, (iv) plataformas que presentan depresiones. Todos los antes mencionados se encuadran en esta categoría de defectos. Por otro lado, problemas tales como: (i) la obstrucción de los elementos del drenaje superficial del tablero, y (ii) la necesidad de reposición, reparación, o pintura de las piezas dañadas de las barandas, deben considerarse trabajos que hacen parte del mantenimiento rutinario.

Los equipos de mantenimiento pueden identificar fácilmente tales defectos rápidamente repararlos para evitar mayores daños a la estructura del puente, restableciendo las condiciones de seguridad tanto de la obra como para el usuario.



A5.1.2 DEFECTOS ESTRUCTURALES

Son aquellos que comprometen la estructura propiamente dicha del puente, por ejemplo, las piezas agrietadas o podridas en el caso de los puentes de madera. Con respecto a los puentes constituidos por estructuras de concreto, existen defectos clasificados como (i) grietas en piezas estructurales importantes como pilares y vigas, (ii) armaduras expuestas, (iii) daños en los elementos de apoyo; todos estos se caracterizan como defectos estructurales.

Estos defectos pueden prevenirse haciendo observaciones periódicas de las piezas que componen la estructura en su conjunto. Cuando se detectan, deben solucionarse





inmediatamente, ya que pueden comprometer la estabilidad del puente en el caso de que no sean reparados.



A5.2 PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS DE MADERA

A5.2.1 PANDEOS Y RAJADURAS

Los pandeos y las rajaduras pueden llegar a poner en riesgo la estructura. Las rajaduras comprometen las uniones, ya que neutralizan la acción de los elementos de unión, como tornillos o pernos. Debe evitarse el uso de la madera verde en la construcción y reparación de los elementos de los puentes. Las extremidades de las piezas donde se verifique la posibilidad de penetración de humedad, deben impermeabilizarse adecuadamente.

Causa principal: secado inadecuado de las piezas de madera. Alternativas de solución: (i) Substitución de la pieza o (ii) Inyección de resina tipo epóxica, así como el uso de abrazaderas para reforzar la pieza a través de grapas metálicas.

A5.2.2 PUDRIMIENTO DE LAS PIEZAS DE MADERA

Las piezas de madera con problemas de pudrimiento o descomposición se vuelven oscuras y blandas, por la que pierden resistencia. Este tipo de problema puede verificarse visualmente, si se golpea la madera con un martillo o se perfora con un elemento puntiagudo.

El secado adecuado de las piezas de la madera y el drenaje de las áreas de contacto pueden evitar este tipo de problema. El uso de productos de protección como la creosota es una manera eficaz de prevención porque impermeabiliza las piezas tratadas. Las piezas deben tratarse inmediatamente después de que han sido trabajadas, o sea, después de su corte y agujereado para que todas las superficies que quedan expuestas reciban una película de protección.

Causa principal: humedad en la pieza.

Alternativas de solución: Sustitución de la pieza.

A5.2.3 ACCIÓN DE FUEGO

Las piezas que han sido alcanzadas por el fuego se destruyen fácilmente debido al alto grado de combustión de la madera.

Causa principal: Acción del fuego sobre las piezas alcanzadas.





Ocurre debido a la imprudencia de conductores y transeúntes que tiran cigarrillos encendidos a lo largo del camino, o por las quemaduras de vegetación hechas por los agricultores en lugares próximos a los puentes.

Alternativas de solución: (i) sustitución de la pieza afectada y, (ii) corte de la vegetación bien a ras del suelo en áreas próximas a los puentes para reducir el potencial de destrucción en caso de que se produzcan incendios en la vegetación circundante.

A5.2.4 EFECTOS DEL DESGASTE MECÁNICO

En puentes de madera, la acción de la fricción de las ruedas de los vehículos puede ocasionar la formación de fibras junto a la superficie de la plataforma de madera, lo que resulta en una reducción importante del espesor de las piezas sujetas al contacto directo con el tráfico. La práctica usual de cubrir los surcos de la rueda con tablas de madera dispuestas en el sentido del tráfico mejora sensiblemente el confort del usuario al atravesarlo, al mismo tiempo que facilita sobremanera las actividades para su mantenimiento.

Causa principal: acción continua en el tráfico

Alternativas de solución: (i) sustitución de las piezas dañadas e (ii) implantación junto a los surcos de rueda de tablas de madera en la forma mencionada anteriormente.

A5.2.5 DEFORMACIONES

Las vigas longitudinales se deforman acentuadamente debido al paso de los vehículos.

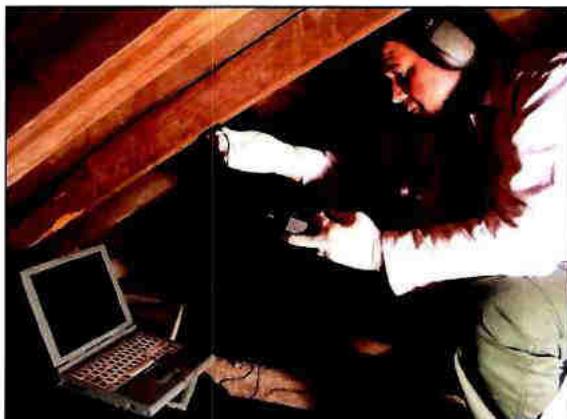
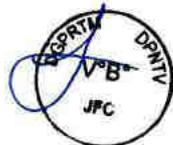
Causa principal: Vehículos que transitan sobre el puente con exceso de carga.

Alternativas de solución: (i) sustitución de las vigas por elementos de mayor sección (ii) refuerzo de las piezas con deformación excesiva, o (iii) prohibición del tránsito de vehículos que transportan cargas con tonelaje más elevado que el permitido por la estructura del puente.

A5.2.6 ATAQUES DE INSECTOS Y CRUSTÁCEOS

Las estructuras de madera pueden ser atacadas por insectos (termes), moluscos (teredo), o incluso crustáceos (limnea).

El uso de pesticidas o creosota en las piezas de construcción de los puentes minimiza la aparición de tales plagas junto a las superficies de las estructuras de madera. Estas plagas aparecen principalmente en áreas del litoral o también en manglares.



Causa principal: Falta de protección de las piezas de madera.



A5.3. PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

A5.3.1 ALTERACION DEL CONCRETO

La alteración del concreto ocurre cuando el mismo está sometido a medios agresivos como sales y sulfatos. El uso de cementos con resistencia a la acción de dichos agentes debe ser objeto de análisis cuando se prevea la aparición de este tipo de problema.



Causas principales: (i) presencia de aguas sulfatadas y (ii) infiltraciones a través de vacíos o hendiduras en las estructuras del concreto.

Alternativas de solución: (i) inyección de lechada de cemento o resina en las hendiduras existentes, e (ii) impermeabilización de las piezas de concreto que estén en contacto con el agua.

A5.3.2 CORROSION DE LAS ARMADURAS

En regiones próximas al mar la acción de la intemperie en las armaduras expuestas ocurre rápidamente, lo que puede comprometer gravemente toda la estructura del puente.

Causas principales: (i) falta de recubrimiento de las armaduras y (ii) presencia de hendiduras en el concreto.



Alternativas de solución: Uso de lechada con aditivos como la resina epóxica o solamente lechada de cemento para el recubrimiento de las armaduras expuestas al aire; se





consideran normales pequeñas hendiduras en las piezas de concreto armado siempre y cuando no haya exposición visible de las armaduras. Sin embargo, las mismas deben ser objeto de controles de rutina para verificar si son ocasionadas por los defectos de la retracción del concreto o si pueden estar indicando algún problema de orden estructural. Las hendiduras de mayor magnitud que son más visibles y con un espesor y profundidad mayor, se denominan grietas. Estas indican la existencia de probables problemas estructurales.

Causas principales: (i) retracción excesiva del concreto por problemas de cura insuficiente, (ii) variación excesiva de la temperatura ambiente y (iii) armaduras mal distribuidas o con problemas de adherencia.

Alternativas de solución: Relleno de las hendiduras con resina epóxica.

A5.3.3 ACCION DE FUEGO

Las altas temperaturas generadas por el fuego afectan las estructuras de concreto ocasionando graves hendiduras. Las armaduras a su vez, también pueden afectarse dependiendo de la magnitud del siniestro.

Causas principales: temperatura excesivamente alta

Alternativas de solución: (i) reparación de las hendiduras con lechada de cemento o resina epóxica en el caso de que las armaduras no hayan sido afectadas y (ii) evaluación estructural de los daños en su totalidad para verificar las posibilidades de recuperación de la estructura, en el caso de que las armaduras hayan sido afectadas por el fuego.

A5.3.4 DEFECTOS EN EL CONCRETO

Los problemas causados por el vertido incorrecto del concreto o errores al realizar los movimientos y/o las vibraciones en el encofrado durante la etapa de construcción, pueden dar origen a defectos en el concreto con o sin exposición de las armaduras.

Causas principales: (i) segregación del concreto durante su vertido en el encofrado, (ii) armaduras con falta de espacio para la penetración del concreto, (iii) encofrado con aberturas y (iv) vibración deficiente del concreto.

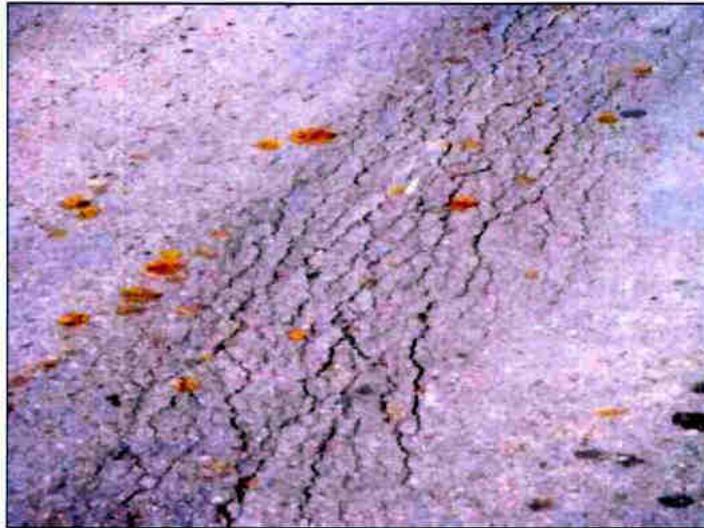
Alternativas de solución: Cubrir los defectos con la aplicación de una mezcla de cemento y arena o su relleno con resina epóxica.

A5.3.5 DEFECTOS EN LA SUPERFICIE DE RODADURA

En los puentes con superficie de rodadura en asfalto se han encontrado desconches y baches generalizados en la carpeta y además fisuras típicas de piel de cocodrilo. En los puentes de carpeta de rodadura en concreto, hay descomposición del material por encharcamiento del agua combinado con la insuficiente capacidad estructural del



pavimento debido al desnivel y al mal manejo de las aguas de escorrentía sobre los tableros (inadecuado bombeo y falta de drenes).



Carpeta descompuesta

A5.3.6 DEFECTOS EN LA JUNTAS DE DILATACIÓN

Uno de los problemas de este componente es su obstrucción con elementos extraños que afecta los movimientos horizontales y verticales que debe soportar la junta. Esto puede producir el deterioro del sello, posible paso del agua a través de la junta y efecto sobre la durabilidad de los apoyos, estribos y pilas del puente.

Este deterioro se debe en algunas ocasiones a asentamientos en los terraplenes de acceso que producen un desnivel con el tablero de la superestructura del puente, generando un aumento en el impacto vehicular. Así mismo puede ser causado por deficiencias en su diseño estructural, lo que implica que el componente no tenga la capacidad de absorber las deformaciones entre la zona de acceso y el tablero del puente.

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.

El inadecuado diseño de la zona alrededor de las juntas, donde se generan problemas de encharcamiento de agua y posterior afectación de los componentes de este dispositivo generan problemas de infiltración que acelera la degradación y deterioro de los componentes del puente adyacentes a este dispositivo.



El deterioro también puede ser ocasionado por corrosión en ángulos y platinas que hacen parte de los tipos de juntas de acero, inadecuada conexión soldada entre los ángulos y las platinas, falla de los anclajes que unen los componentes del dispositivo de las juntas con las partes adyacentes del puente (losa, diafragma, etc.), inadecuada construcción de los guardacantos por falta de adherencia y mala calidad del concreto, aumento de las cargas legales previstas o caída de agentes químicos inadmisibles que afectan la masilla empleada para su instalación.

A5.3.7 DEFECTOS EN LOS ANDENES, BORDILLOS Y BARANDAS

Los daños típicos que se encuentran en estos componentes son los hormigueros en el concreto combinado con aceros expuestos, producto de deficiencias en su proceso constructivo y/o mal diseño, también por grietas estructurales y grietas no estructurales producidas por contracción, retracción de fraguado, etc.

Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida en algunos casos por carbonatación (baja de PH), sulfatos, materia orgánica y cloruros. Para las barandas, los daños típicos que se encuentran en estos componentes son causados principalmente por impactos ocasionados por accidentes de camiones y vehículos.

A5.3.7.1 DEFECTOS EN LOS CONOS Y TALUDES

Inestabilidad de los taludes adyacentes a las aletas y estribos de los puentes, producto de erosión o socavación. Esto se detecta por movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La superficie del terreno presenta escalonamientos y los troncos de árboles se inclinan en el sentido del movimiento.

Rotación hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Deslizamiento traslacional, consistente en el desplazamiento de la masa de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Las razones por las cuales se generan este tipo de daño son la erosión de los taludes adyacentes a los estribos, generada por la falta de dispositivos para el adecuado manejo de las aguas de escorrentía provenientes de la carretera en época de invierno, la inestabilidad de los conos y taludes, producto de una mala conformación de su relleno y la afectación de los taludes por el efecto de socavación lateral

A5.3.7.2 DEFECTOS EN LAS ALETAS

Inestabilidad estructural de las aletas de los puentes producidas por asentamiento y/o socavación, que pone en riesgo la estabilidad de los terraplenes de acceso. Este se identifica a través de grietas en las aletas y/o rotaciones identificadas visualmente. Dichos daños se identifican cuando se observan movimientos y desplomes por problemas de socavación lateral del cauce sobre las cimentaciones de las aletas, erosiones producidas por la inestabilidad de los taludes aledaños que afectan estabilidad de las aletas y por





deformaciones o rotaciones de las aletas producto de los asentamientos de su cimentación, para lo cual estos componentes no están preparados estructuralmente.

Otro tipo de daño en este componente es su deterioro, el cual afecta su capacidad de carga y por lo tanto la función de soportar las cargas horizontales que le transmite el relleno del terraplén de acceso. Las razones pueden ser deficiencias estructurales producto de un inadecuado diseño estructural (geometría inadecuada, cimentación y unión con estribo no apropiado, empleo inadecuado de este componente para soportar cargas de una ampliación del tablero del puente o de una pasarela peatonal (esto sucede cuando se quiere ampliar el tablero de los puentes y se decide en forma equivocada emplear las aletas para servir de apoyo de esta nueva estructura). La acumulación de maleza o basura, los procesos de construcción deficientes (hormigueros y acero expuesto), problemas de durabilidad (carbonatación o baja de PH, alto contenido de sulfatos y cloruros); afectan considerablemente a este componente. El estado de este componente en general es bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados de estos componentes en estas inspecciones, son el asentamiento, erosión y socavación. La reparación más sugerida es la reparación del concreto y el aumento de las labores de mantenimiento.

A5.3.7.3 DEFECTOS EN LOS ESTRIBOS

Inestabilidad estructural del estribo producido por asentamiento y/o socavación, que pone en riesgo la estabilidad de la superestructura, las aletas y el terraplén de acceso del puente. Cuando es un daño por asentamiento, este se manifiesta por la rotación de la estructura del estribo, separación entre el estribo y la aleta, grietas en los estribos, etc. Cuando es un daño por socavación, este se manifiesta por la pérdida de soporte de la cimentación de los estribos, observándose por ejemplo: pilotes descubiertos, huecos en las zarpas de la cimentación superficial, etc.

Otro tipo de daño de este componente es el deterioro y la falta de capacidad de carga, lo cual se detecta por deficiencias estructurales, producto de un inadecuado diseño, donde el componente no está en capacidad de soportar los empujes de tierra horizontal provenientes del terraplén de acceso, ni las cargas verticales provenientes de la superestructura del puente; esto se evidencia por la presencia de grietas especialmente a flexión (grietas en la zona de los apoyos). Los procesos de construcción deficientes (hormigueros y aceros expuestos) así como problemas en la durabilidad del concreto (producida por carbonatación o baja de PH, contenido de sulfatos y cloruros) generando problemas de corrosión.

Así mismo, las fallas por aplastamiento del concreto del estribo en la zona de apoyos, por la falta de capacidad de soportar este tipo de cargas, el deterioro del concreto de los estribos por infiltración proveniente de las juntas de dilatación (sin sello y permeable) y la



acumulación de maleza o basura, afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

A5.3.7.4 DEFECTOS EN LAS PILAS

Deformaciones o rotaciones de las pilas producto del asentamiento de su cimentación, para lo cual este componente no está preparado estructuralmente. Este tipo de asentamientos se evidencia por las deformaciones longitudinales en las barandas. Movimientos y desplomes generados por la socavación lateral del cauce sobre las cimentaciones de las pilas.

Otro tipo de daño de este componte es el deterioro y la falta de capacidad de carga, lo cual se detecta por deficiencias estructurales que no permiten que la pila este en la capacidad de soportar las cargas sísmicas ni las cargas verticales provenientes de la superestructura, generando grietas a flexión y a cortante. Procesos de construcción deficientes (hormigueros y aceros expuestos en la pila), así como problemas en la durabilidad del concreto (carbonatación o baja de PH, contenido de sulfatos y cloruros) que generan corrosión, principalmente en ambientes agresivos zonas costeras especialmente. Deterioro del concreto de las pilas por infiltración proveniente de las juntas de dilatación (sin sello y permeable), lo cual afecta su durabilidad, así como la acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

A5.3.7.5 DEFECTOS EN LOS APOYOS

Diseño inadecuado que se convierte en una vulnerabilidad sísmica de los apoyos en estribos y pilas, que no lo hacen competente estructuralmente en el momento de un sismo y que ponen en riesgo la estabilidad general del puente, por lo general se construyen sin cumplir con las especificaciones sismo resistentes. Esta vulnerabilidad que genera los apoyos al puente, se identifica por una longitud insuficiente de su asiento, por su forma y dimensiones inadecuadas (apoyos de balancín de acero, balancín de concreto y rodillos), etc. Ausencia de elementos de restricción transversal o topes sísmicos, que garanticen estabilidad lateral de la superestructura del puente ante un evento sísmico.

Otro tipo de daño de este componte es el deterioro, el cual se manifiesta por varios aspectos como la deformación y distorsión de apoyos de neopreno, desconches de bajo de los apoyos por falla por aplastamiento del concreto en los estribos y las pilas, apoyos de acero tipo móvil (rodillos) sin lubricar, corrosión generalizada en los apoyos de acero, apoyos de balancín sin una correcta verticalidad, falta de anclajes o tornillos en apoyos de acero móviles, acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente, deterioro del apoyo, ya sea por mala calidad del recubrimiento o por grietas producidas por el doblado del refuerzo principal en el extremo, por la necesidad de un radio de curvatura importante para varillas de mayor diámetro.



**A5.3.7.6 DEFECTOS EN LAS LOSAS**

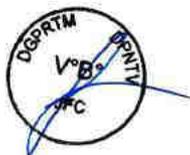
Deficiencias estructurales, reflejadas mediante grietas de flexiones (primarias o secundarias). También deterioro del concreto, encontrándose aceros expuestos, hormigueros, deficiencias en la construcción, problemas de durabilidad, etc. En este diagnóstico incluye las losas de acceso en concreto reforzado. Las causas principales de los daños en las losas ocurren por insuficiente capacidad de carga debido a su inadecuado diseño. Esto se refleja cuando tienen un espesor menor al especificado por el Código de Diseño Sísmico (<18 cm); por la mala calidad del concreto, lo cual se detecta por su débil consistencia, indicios de fractura y/o hormigueros; por tener un refuerzo liso, con un diámetro menor a 3/8" y una separación entre barras mayor de 30 cm que no proporciona una adecuada adherencia entre concreto y el acero; cuando se detecta la presencia de fisuras con anchos apreciables, que son un indicio de su falta de capacidad estructural y de que están sometidos a esfuerzos mayores a los que están en capacidad de soportar (grietas estructurales). Cuando las grietas son de espesores menores, pueden estar relacionados con el tema de deficiencias en su durabilidad (grietas no estructurales). Para poder tener una referencia o un orden de magnitud sobre su relación con el tema durabilidad, se sugiere tener en cuenta las recomendaciones del documento ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures").

Guía para ancho admisible de fisuras en estructuras de concreto reforzado bajo cargas de servicio

Condiciones de exposición	Anchos de fisuras admisibles
<i>Aire seco o membrana protectora</i>	<i>0.4</i>
<i>Ambiente húmedo (aire húmedo, suelo, etc.).</i>	<i>0.3</i>
<i>Productos químicos descongelantes</i>	<i>0.2</i>
<i>Humedecimiento y secado de agua de mar</i>	<i>0.15</i>
<i>Estructuras para retención de agua, excluyendo tuberías sin presión</i>	<i>0.10</i>
<i>Elementos de concreto preesforzado</i>	<i>0.10</i>

Para el diagnóstico relacionado con la presencia de grietas de este componente, se recomienda:

Si los anchos de las fisuras son menores de 0.3 mm se puede suponer que los esfuerzos no son muy altos y no se deberá tomar acción alguna.





Si el ancho de las fisuras está entre 0.3 y 0.6 mm, el esfuerzo puede ser alto, pero se supone que no es peligroso. Cuando hay un ancho de fisura mayor a 0.6 mm indica que los esfuerzos son altos y que allí puede haber un problema con respecto a la capacidad de carga.

Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos en la losa. También por segregación y juntas frías inadecuadas. Grietas en el concreto de las losas causadas por la corrosión del acero, lo cual hace que este se expanda o hinche internamente, hasta generar fisuras longitudinales paralelas al refuerzo. Fractura del concreto en la parte de la losa en voladizo acompañado con fisuras de flexión primaria y secundaria. Fisuras en forma de malla relativamente finas en la parte inferior de la losa pueden indicar insuficiencia en la capacidad de carga. Frecuentemente las fisuras también aparecen en la calzada; un patrón de fisura sistemático en la superficie de asfalto indica con frecuencia problemas en la losa. Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida en algunos puentes por carbonatación o baja de PH.

Esto genera que el recubrimiento del concreto de este componente no proteja adecuadamente el acero de refuerzo y este tenga problemas de corrosión. También su deterioro se puede deber a un alto contenido de sulfatos y cloruros en puentes construidos en zonas con ambientes agresivos. Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al generar un impacto al concreto con un martillo y analizar su consistencia y estado.

Grietas no estructurales de retracción y fraguado, cuyos espesores y forma de propagarse permite identificarlas. Deterioro del concreto de las losas en voladizo de los tableros de los puentes, producido por la disposición inadecuada de los drenes en el tablero. Esto genera infiltración o estancamiento del agua sobre la superficie de rodadura, que afecta la durabilidad de la losa. Esto se debe a las siguientes fallas del drenaje longitudinal:

- Insuficiente cantidad de drenes
- Drenes con una sección y longitud inadecuada

Este componente tiene un estado bueno. Los tipos de daños más frecuentes detectados en estas inspecciones de este componente son: infiltración y la descomposición del concreto, acero expuesto. Las obras más sugeridas es reparación de drenes y del concreto.

A5.3.7.7 DEFECTOS EN LAS VIGAS

Deficiencias estructurales y deterioro de las vigas de los puentes, que se traducen en algunos casos en falta de capacidad de carga. Se refleja en grietas de cortante, tensión, flexión y torsión, causadas por la insuficiente capacidad de carga de las vigas. Riostras o vigas transversales con fisuras de flexión y cortante. La presencia de fisuras con anchos





apreciables en componentes principales de los puentes en concreto reforzado, son un indicio de su falta de capacidad de carga y de que están sometidos a esfuerzos mayores a los que están en capacidad de soportar (grietas estructurales). Cuando las grietas son de espesores menores, pueden estar relacionados con el tema de deficiencias en su durabilidad (grietas no estructurales). Para poder tener una referencia o un orden de magnitud sobre su relación con el tema durabilidad, se sugiere tener en cuenta las recomendaciones del documento ACI 224 R-01 ("Control of Cracking in concrete Structures").

Falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, debido al mal detallado estructural (falta de ganchos, traslapos mal ubicados, aceros de refuerzo lisos, etc.). Esto se identifica por fisuras longitudinales paralelas al refuerzo de las vigas. Sobrecarga producida por los camiones sobre los puentes, por la falta de control mediante estaciones de pesaje. Este control debe ser recomendando también para vías secundarias y terciarias; también producida, por espesores de pavimento adicionales, sin tener en cuenta que estas estructuras no están preparadas para soportar estos aumentos de cargas muertas.

Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros, segregación y aceros expuestos en la viga. También por inadecuada colocación del refuerzo, descimbrado inadecuado, ausencia o mala protección y curado del concreto, falta de control de calidad en los materiales, recubrimiento inadecuado y construcción inadecuada de juntas frías. Deterioro del concreto de las vigas, producida por la inadecuada instalación de los drenes, que hacen que exista infiltración que afecta la durabilidad de estos componentes. Impacto de vigas cuyo tráfico circula por debajo del puente, producto de un galibo insuficiente. Este impacto afecta el concreto y acero principal de las vigas. Acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

Otro tipo de daño, es la corrosión del refuerzo de vigas en concreto reforzado o preesforzado, lo cual genera una pérdida de sección y afecta su capacidad de carga. Esto se manifiesta ya sea como la corrosión del acero de refuerzo o como deficiencias en la durabilidad.

La corrosión produce grietas (generalmente paralelas al refuerzo) en el concreto de estas vigas, producto de la pérdida de sección e hinchamiento de dicho refuerzo, disminuyendo la capacidad de carga de estos componentes (Figura 32); la durabilidad afectada por carbonatación, ataque de sulfatos y cloruros (principalmente en ambientes agresivos, Figura 33). Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al pegar con un martillo el concreto y analizar su consistencia y estado. También corrosión de acero estructural de vigas





metálicas que hacen parte de tableros de puentes de sección mixtos (concreto y acero), armaduras, arcos, colgantes, atirantados y puentes provisionales.

A5.3.7.8 DEFECTOS EN LOS ELEMENTOS DE ARCO

Deficiencias estructurales y deterioro de los arcos de concreto, mampostería o acero en los puentes. Estas deficiencias se manifiestan por fisuras, indicios de corrosión (cambios de color), aceros expuestos, hormigueros, etc. Estos daños se deben a su falta de capacidad estructural se presentan fisuras transversales y longitudinales en arcos de concreto simple, que representan deficiencias en su capacidad de carga.

Además, ausencia o pérdida de recubrimiento. Hormigueros y acero expuesto. Por su insuficiente capacidad de carga, se presentan grietas en los arcos de mampostería, hundimiento, desplazamiento de dovelas, grietas en el mortero de unión y desprendimiento de las unidades de mampostería.

Infiltraciones en exceso que generan desintegración del material y afecta apreciablemente su durabilidad. Deficiencias en el detallado estructural de puentes en acero, especialmente en las uniones soldadas entre arco-pendolón y pendolón.

Viga de rigidez. Elementos deformados y figurados con indicios de corrosión. Deficiencias en la soldadura y pintura deteriorada. Impacto de vehículos.

Corrosión del acero de refuerzo que produce grietas (generalmente paralelas al refuerzo) en el concreto de los arcos, producto de la pérdida de sección e hinchamiento de dicho refuerzo. Esta pérdida de sección del refuerzo representa una disminución de la capacidad de carga de estos componentes, cuya responsabilidad en el puente es generalmente relevante. Deficiencias en la durabilidad del concreto, producida por carbonatación o baja de PH. Esto genera que el recubrimiento del concreto de este componente no proteja adecuadamente el acero de refuerzo y este tenga problemas de corrosión. También su deterioro se puede deber a un alto contenido de sulfatos y cloruros en puentes localizados en zonas con ambientes agresivos. Esto se detecta a través de grietas no estructurales o eflorescencias (Son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente blanquecinas). Puede hacerse también al pegar con un martillo el concreto y analizar su consistencia y estado. Falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, debido al mal detallado estructural (falta de ganchos y traslapes mal ubicados). Sobrecargas producidas por los camiones sobre los puentes y en algunos casos por los ingenieros encargados de la rehabilitación de los pavimentos, quienes construyen espesores adicionales de pavimentos, sin tener en cuenta que estas estructuras no están preparadas para soportar estos aumentos de cargas muertas.





Procesos de construcción deficientes, lo cual se evidencia por la presencia de hormigueros y aceros expuestos en el arco, además acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente.

A5.3.7.9 DEFECTOS EN LOS ELEMENTOS DE ARMADURA Y CABLES

Problemas de durabilidad de los elementos de armaduras y sus conexiones, generadas por fenómenos de corrosión, que pueden afectar su capacidad de carga.

Esto se refleja así:

Corrosión generalizada en elementos principales de los puentes de armaduras, especialmente en los cordones inferiores de puentes tipo armadura, que ponen en riesgo la estabilidad de la estructura. Esta corrosión se presenta por el medio ambiente en la zona y en muchos casos por que el acero no tiene la pintura de protección básica. Conexiones soldadas con defectos de construcción (Socavados, discontinuidad, fundido inadecuado, etc.). Grietas en elementos a tensión.

Falta de remaches y pernos, que ponen en riesgo la estabilidad del puente y elementos de armaduras golpeados y oxidados, especialmente el cordón superior, el cual tiene responsabilidad estructural en la estabilidad del puente.

Problemas de pandeo local y general, en elementos de acero no compactos de las armaduras. Esto se detecta cuando se encuentran almas o aletas esbeltas con alabeo y deformaciones locales. También cuando estos componentes no tienen arriostramientos. Afectación de la seguridad estructural de los componentes y conexiones de las armaduras por el fenómeno de la fatiga. Este fenómeno puede afectar a los elementos, las conexiones soldadas y las conexiones pernadas de los puentes de armadura. Estos problemas de fatiga se identifican con los siguientes indicios:

- Fisuras externas o internas en las partes de la soldadura.
- Cambio de color de soldaduras acompañada con presencia de corrosión leve.
- Desprendimiento parcial o total de la soldadura en varias zonas de los elementos cerca de las conexiones.
- Remaches, tornillos o pernos sueltos o descompuestos.
- Acumulación de maleza o basura que afecta a mediano plazo la durabilidad el material de este componente, por su falta de limpieza y mantenimiento.

Deficiencias estructurales y deterioro de los cables y pendolones de los puentes. Esto se refleja como corrosión en cables o pendolones, que disminuyen su sección transversal y afectan su seguridad estructural, falta de remaches en la unión de las vigas con el pendolón y corrosión generalizada en elementos de acero, platinas afectadas por el pandeo y el



inadecuado detallado estructural, aumento del fenómeno de fatiga por soldaduras intermitentes en uniones principales y elementos soldados, rotura de hilos en los cables principales (catenaria y pendolones) y también por falta de limpieza y mantenimiento.

A5.3.7.10 DEFECTOS EN LOS CAUCES

Uno de los principales problemas que afectan a los puentes es la Socavación o colmatación de cimentación de estribos, aletas y pilas. Las principales causas son: Colmatación y sedimentación del cauce, que disminuye el galibo y aumenta el riesgo de submergencia. Por esta razón el cauce puede afectar los terraplenes de acceso del puente y en algunos casos que colapsen.

Mal diseño que trae como consecuencia pilotes descubiertos de estribos y pilas, producto de socavación general y local.

Obstáculos innecesarios (árboles, piedras, casas, estructuras hidráulicas dañadas, etc.) en el cauce de los puentes que generan socavación local. Mala orientación en el puente, lo cual sucede cuando hay un ángulo alto de ataque de la corriente o de incidencia a la infraestructura del puente. La corriente ataca lateralmente las pilas y estribos reduciendo el ancho efectivo del cauce (ancho total menos el ancho de la proyección de los obstáculos), y por lo tanto se aumenta la velocidad de la corriente y se incrementa la profundidad de la socavación. Márgenes del cauce aguas arriba inestables, con la probabilidad de afectar la estabilidad de los puentes y la falta de mantenimiento correspondiente a limpieza de escombros u obstáculos en el cauce que produce aumento de la socavación.





ANEXO VI

PRUEBAS EN LOS COMPONENTES DE UN PUENTE

A6.1. INTRODUCCIÓN

Para planificar una reparación o mantenimiento de un puente, en algunos casos es necesario obtener más información de la condición del material existente que la que se puede obtener con la inspección visual.

Normalmente el Supervisor no ejecuta estas pruebas, pero si debe saber cuándo son necesarias y conocer lo que se determina con ellas. Por esta razón, es importante que el Inspector revise los conceptos técnicos sobre pruebas en los Componentes de un Puente, para facilitar su trabajo de inspección en campo y la preparación de su Informe de Inspección.

A6.2. RECONOCIMIENTO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EN EL CONCRETO ARMADO

Hay varias pruebas para investigar el deterioro de un elemento debido a la corrosión del acero de refuerzo.

El reconocimiento de la delaminación se hace golpeando el tablero de concreto para que aparezcan las fisuras internas causadas por la corrosión del acero de refuerzo, quedando las marcas en la superficie; la superficie usualmente se sondea mediante una cadena de arrastre, mostrando la delaminación.

Las áreas que presentan este tipo de deterioro, quedan marcadas en la superficie y el mapa se usa como un informe de reconocimiento. La cantidad de delaminación es medida como porcentaje del área de la superficie tratada. No se incluyen las cavidades que se han producido por otros motivos.



A6.3. COBERTURA DEL ACERO DE REFUERZO USANDO UN MEDIDOR DE ESPESOR

Hay instrumentos comercialmente disponibles que, usando un campo magnético, detectan la presencia, dentro del concreto, de las barras de acero de refuerzo. Si se conoce el





PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General de
Políticas y Regulación en
Transporte Multimodal

diámetro de la barra, el instrumento puede determinar el espesor de concreto sobre la barra.



La estimación de la profundidad a la que se encuentran las barras de refuerzo es útil cuando hay que remover parte de la superficie para trabajos de mantenimiento.

Para ayudar a comprobar la precisión y calibrar el instrumento, se expone una barra de refuerzo y se compara la lectura con la profundidad hallada.

Esta práctica es útil puesto que el concreto puede contener partículas magnéticas que afectan las medidas dadas por el instrumento.

A6.4. CONTENIDO DE CLORUROS

Es una Inspección Especial que se efectúa recogiendo muestras del polvo de concreto por efecto de taladrar la superficie y analizando las muestras obtenidas a varias profundidades.

El contenido de sales de cloro se puede medir en kg/m³. El umbral de contaminación empieza con 16 kg/m³ (una libra por pie cúbico).

A6.5. RECONOCIMIENTO DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN

El procedimiento para medir el potencial de corrosión del acero de refuerzo es midiendo el potencial eléctrico de este acero. Estas medidas se hacen conectando una sonda a un detector de corrosión. La superficie es usualmente mojada para un mejor contacto eléctrico.

Esta prueba no es recomendable cuando el tablero está armado con acero galvanizado o cubierto con material epóxico.

A6.6. MAPA DE CONTORNO DE CORROSIÓN

Los test de corrosión están típicamente circunscritos a un cuadrado de 1.3m de lado (cuatro pies) establecido en el tablero del puente. Los resultados de la prueba se registran en la misma ubicación mostrada en un esquema del tablero y los contornos muestran las áreas que tienen delaminación, contaminación por cloruros y corrosión activa.

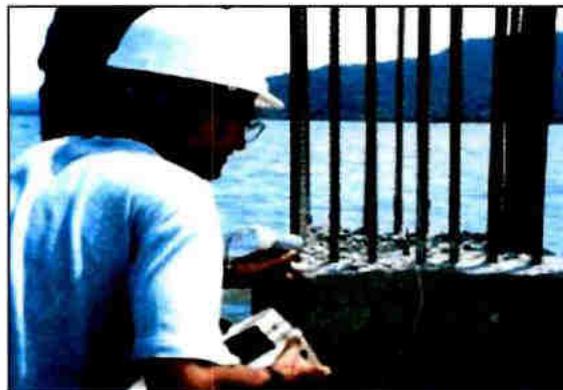




A6.7. NUEVAS PRUEBAS DE CORROSIÓN

Los tableros de concreto, deteriorados por contaminación con sales de cloro, continúan aumentando el costo del mantenimiento en puentes. La investigación y los esfuerzos que se desarrollan para hallar métodos de detección y cuantificación de daños por corrosión, en forma más confiable y rápida, hacen más efectiva la administración para el mantenimiento de puentes.

Uno de tales esfuerzos es el desarrollo de un índice de la medida de corrosión basada en la determinación de la polarización potencial del acero de refuerzo. Otro método de prueba, es de acuerdo a la permeabilidad del concreto, indicado por la carga eléctrica que pasa a través de este material.

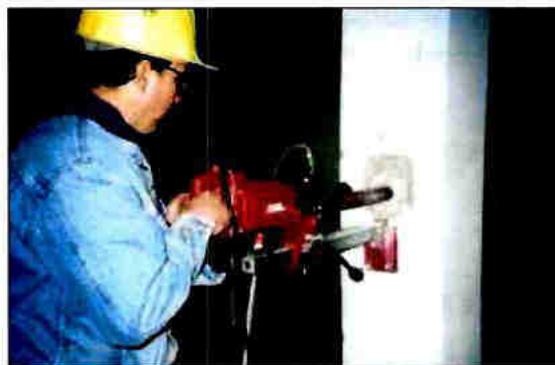


A6.8. PRUEBAS EN CONCRETO SIN RELACIÓN A LA CORROSIÓN

En un tablero de concreto armado, se puede determinar las características del material que son más útiles en la planificación de su mantenimiento, mediante:

A6.8.1 TESTIGOS.

Que pueden ser extraídos mediante taladros del material endurecido que forma el tablero. Estos testigos pueden luego ser probados a la compresión.



Sin embargo, como la mayoría de los problemas tiene más relación con la durabilidad que con la resistencia, raramente estos testigos se ensayan la compresión simple y, más bien,



son usados para análisis petrográficos de aire incorporado y para pruebas de contaminación química. Como esta prueba es costosa y destructiva, los testigos se extraen solo cuando es necesario efectuar investigación adicional.

A6.8.2 REACTIVIDAD ALCALINA DE LOS AGREGADOS

Algunos agregados reaccionan con el cemento creando un gel en el concreto endurecido; con el tiempo, este gel se expande causando fisuras y desintegración de la adherencia entre los ingredientes del concreto. Una prueba con luz ultravioleta y acetato de uranio permite determinar la presencia del gel.

Poco puede hacerse para prevenir este problema en los puentes existentes, excepto hacer lo posible para impedir el uso de agregados reactivos en las futuras reparaciones.

A6.8.3 PRUEBAS PARA PROBLEMAS ESPECIALES

Hay pruebas consideradas muy costosas para ser usadas en forma rutinaria. Sin embargo, algunas pueden ser usadas en situaciones especiales, tales como:

A6.8.3.1 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO

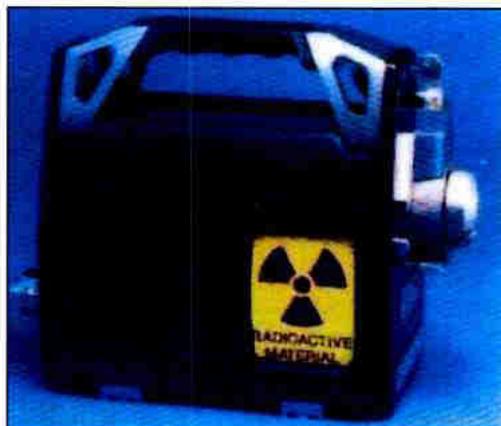
Con esta medición se obtiene el tiempo de transmisión de energía de un pulso ultrasónico a través de una cierta distancia de concreto. Esta velocidad es proporcional al módulo dinámico de elasticidad o endurecimiento, el cual a su vez es un indicador de la resistencia del concreto.



La prueba evalúa la homogeneidad y determina la ubicación de las fisuras. El resultado puede ser afectado por muchos factores, incluyendo la variación de los agregados y la ubicación del acero de refuerzo. Se obtienen resultados cuantitativos, pero ellos son de naturaleza relativa, por lo que es necesario correlacionarlos con testigos, para conseguir valores absolutos.

A6.8.3.2 INSPECCION RADIOGRÁFICA

Puede usarse para ubicar fisuras, acero de refuerzo y vacíos internos en el concreto. Se puede penetrar hasta 200 mm dentro del concreto.



Es un método no destructivo, pero requiere acceso a la parte posterior del elemento. Es muy costoso y debe ser usado con cuidado por el potencial de riesgo a la salud de los rayos X.

A6.8.3.3 TOMOGRAFÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA

Esta prueba emplea una fuente nuclear para obtener una sección transversal del elemento. Entrega información sobre la ubicación de los agregados, fisuras, vacíos, densidad y extensión de la corrosión.



Es un método no destructivo y puede ser usado para observar elementos de hasta un metro de espesor. Es muy costoso, no da medidas directas de resistencia y tiene un alto riesgo para el usuario.

A6.9. PRUEBAS EN ELEMENTOS DE ACERO

Existen varios métodos de prueba para evaluar los problemas que tienen los elementos de acero. Es importante conocer la resistencia del acero, sus ingredientes y la presencia de fallas o fisuras que no se pueden observar a simple vista.

A6.9.1 PLACAS DE MUESTRA

Se pueden extraer muestra del área de un elemento donde no cause problema a la estructura (determinada por un especialista estructural calificado). La muestra puede ser



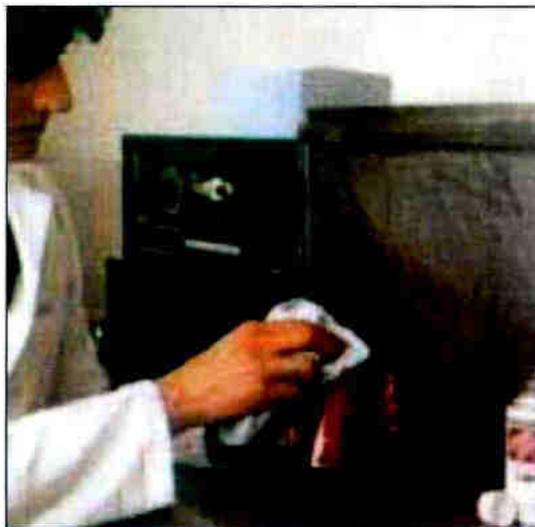


probada a esfuerzos de tracción y análisis de sus ingredientes (para capacidad de carga y soldabilidad). La prueba es destructiva por lo que su uso es restringido.



A6.9.2 TINTES DE PENETRACIÓN

Esta prueba es usada para identificar y aumentar las fisuras en la superficie de elementos de acero. La prueba es simple y no es costosa. Fotografiando las fisuras se obtiene un registro duradero.



A6.9.3 PRUEBAS CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Con esta prueba se ubican fisuras en la superficie de elementos de acero, introduciendo un campo magnético. Las partículas magnéticas son fluorescentes y están suspendidas en un líquido espeso. El campo magnético atrae las partículas hacia las discontinuidades de la superficie de acero. El método es rápido y de bajo costo, aunque sólo es aplicable a defectos superficiales.





A6.9.4 PRUEBAS ULTRASÓNICAS

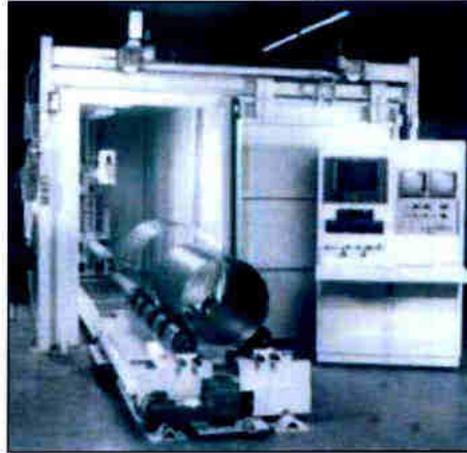
Este método emplea ondas de sonido para ubicar fisuras o fallas dentro de miembros de acero. Es comúnmente usado en uniones soldadas terminales de platabandas, partes de péndolas con pines.

Es más efectiva en la identificación de fisuras que son perpendiculares, más que paralelas, a la dirección de la onda de sonido. Es una prueba no destructiva y puede ser usada para medir espesores de elementos.



A6.9.5 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

Se localizan fisuras con empleo de películas y una fuente de rayos X o rayos gamma, colocada en el lado opuesto del elemento, obteniendo un registro permanente. Se puede penetrar hasta 350 mm en el acero.



El método es costoso, difícil de usar, con riesgo de salud para el operador, a menos que se tomen cuidados extremos durante su aplicación.

A6.9.6 HOLOGRAFIA ACÚSTICA

Con este método se ubican fisuras empleando transductores ultrasónicos que producen una figura multidimensional y un registro permanente. La prueba es costosa y algo experimental.

A6.10. PRUEBAS EN ELEMENTOS DE MADERA

La madera es uno de los materiales antiguos más usados en los puentes.

A pesar de su larga historia, aún están en desarrollo métodos de prueba para añadir a esos actualmente en uso:

A6.10.1 PUNZÓN DE PRUEBA

Un punzón (Picahielos) puede ser usado para que, en forma subjetiva, se mida la calidad de la madera.

A6.10.2 PERFORACIONES

Se emplean para obtener muestras del interior de una pieza de madera ya que el deterioro empieza en el interior de un elemento tratado. Con esta prueba se define si el elemento debe ser cambiado como parte de una operación de reparación.

A6.10.3 PRUEBAS AVANZADAS PARA MADERA

Las siguientes son dos de las muchas pruebas que se han desarrollado para evaluar la capacidad de los elementos de madera.

A6.10.3.1 PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO SÓNICO

Con este método se tiene la resistencia relativa de la madera y la pérdida de sección como un solo valor, basándose en la velocidad del pulso, que es proporcional a la densidad y al





módulo de elasticidad. Para obtener valores absolutos es necesario correlacionar los resultados con muestras de conocida resistencia.



A6.10.3.2 MEDIDORES MANUALES DE HUMEDAD

Con estos medidores se obtiene la humedad contenida en una pieza sólida, incluyendo madera laminada. Estos aparatos pueden ser de medición dieléctrica o de conducción. Con ello se obtiene una medida rápida del contenido de humedad y también proporcionan información sobre resistencia, basándose en parámetros eléctricos, aunque esa información no es confiable.



Las medidas deben ser comparadas con una curva de calibración, para obtener una medida indirecta del contenido de humedad.



Ciertos preservantes (creosota) y adhesivos (cola de madera laminada) pueden afectar las lecturas.

A6.11. PRUEBAS DE CARGAS

La mayoría de los métodos de medición de capacidad de un elemento de un puente, predicen el esfuerzo que puede producirse en ese elemento por el peso de un vehículo.

La predicción se basa en una simple aplicación de la teoría estructural, combinada con factores experimentales. Las lecturas de los medidores de deformación, aplicados en



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal

ciertos puntos de la estructura, son convertidas a esfuerzos, registrando los producidos por diferentes cargas.

Este método es aplicable en caso que exista duda del estado de un puente y debe realizarse con un proceso específico y aprobado.

