

SECCIÓN 2 (SI) - DISEÑO GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN

CONTENIDO

2.1	CAMPO DE APLICACIÓN	2-1
2.2	DEFINICIONES	2-1
2.3	CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN	2-3
2.3.1	Ubicación	2-3
2.3.1.1	Requisitos Generales	2-3
2.3.1.2	Cruces sobre Cursos de Agua y Zonas de Inundación	2-3
2.3.2	Disposición del Predio del Puente	2-4
2.3.2.1	Requisitos Generales	2-4
2.3.2.2	Seguridad del Tráfico	2-5
2.3.2.2.1	Protección de las Estructuras	2-5
2.3.2.2.2	Protección de los Usuarios	2-5
2.3.2.2.3	Normas Geométricas	2-6
2.3.2.2.4	Superficies de Rodamiento	2-6
2.3.2.2.5	Colisión de Embarcaciones	2-6
2.3.3	Luces	2-6
2.3.3.1	Luces para la Navegación	2-6
2.3.3.2	Luces Verticales para el Tránsito Vial	2-7
2.3.3.3	Luces Horizontales para el Tránsito Vial	2-7
2.3.3.4	Cruces Ferroviarios	2-7
2.3.4	Ambiente	2-8
2.4	INVESTIGACIÓN DE LAS FUNDACIONES	2-8
2.4.1	Requisitos Generales	2-8
2.4.2	Estudios Topográficos	2-8
2.5	OBJETIVOS DE DISEÑO	2-8
2.5.1	Seguridad	2-8
2.5.2	Serviciabilidad	2-9
2.5.2.1	Durabilidad	2-9
2.5.2.1.1	Materiales	2-9
2.5.2.1.2	Medidas de Autoprotección	2-9
2.5.2.2	Inspeccionabilidad	2-10
2.5.2.3	Mantenimiento	2-10
2.5.2.4	Transitabilidad	2-10
2.5.2.5	Instalaciones para Servicios Públicos	2-11

2.5.2.6	Deformaciones.....	2-11
2.5.2.6.1	Requisitos Generales	2-11
2.5.2.6.2	Criterios para la Deflexión	2-12
2.5.2.6.3	Criterios Opcionales para Relaciones Longitud de Tramo-Profundidad.....	2-14
2.5.2.7	Consideración de Futuros Ensanchamientos	2-15
2.5.2.7.1	Vigas Exteriores en Puentes Multiviga	2-15
2.5.2.7.2	Subestructura	2-15
2.5.3	Construibilidad	2-15
2.5.4	Economía.....	2-16
2.5.4.1	Requisitos Generales	2-16
2.5.4.2	Planos Alternativos.....	2-16
2.5.5	Estética del Puente	2-17
2.6	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA.....	2-18
2.6.1	Requisitos Generales	2-18
2.6.2	Datos del Sitio de Emplazamiento	2-20
2.6.3	Análisis Hidrológico	2-21
2.6.4	Análisis Hidráulico.....	2-22
2.6.4.1	Requisitos Generales	2-22
2.6.4.2	Estabilidad del Curso de Agua	2-22
2.6.4.3	Curso de Agua debajo del Puente.....	2-23
2.6.4.4	Fundaciones del Puente	2-23
2.6.4.4.1	Requisitos Generales	2-23
2.6.4.4.2	Socavación de Puentes	2-24
2.6.4.5	Accesos Carreteros	2-26
2.6.5	Ubicación y Longitud de las Alcantarillas, Área del Curso de Agua	2-27
2.6.6	Drenaje de la Carretera.....	2-27
2.6.6.1	Requisitos Generales	2-27
2.6.6.2	Tormenta de Diseño	2-28
2.6.6.3	Tipo, Tamaño y Número de Drenes	2-28
2.6.6.4	Descarga de los Drenes del Tablero	2-28
2.6.6.5	Drenaje de las Estructuras	2-29

SECCIÓN 2 (SI)

DISEÑO GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN

2.1 CAMPO DE APLICACIÓN

C2.1

Se proporcionan requisitos mínimos sobre luces libres, protección ambiental, estética, estudios geológicos, economía, transitabilidad, durabilidad, construibilidad, inspeccionabilidad y mantenimiento. Se hace referencia a requisitos mínimos para seguridad del tráfico.

Se incluyen requisitos mínimos para las instalaciones de drenaje y medidas de autoprotección contra el agua, el hielo y las sales transportadas por el agua.

Reconociendo que numerosas fallas en puentes han sido provocadas por la socavación, se analizan en detalle los aspectos hidrológicos e hidráulicos.

La intención de esta sección es proporcionar al Diseñador información suficiente para determinar la configuración y dimensiones globales de un puente.

2.2 DEFINICIONES

Abertura para un Curso de Agua – Ancho o área de la abertura de un puente en un nivel especificado, medido de manera normal a la dirección principal de flujo.

Agradación – Crecimiento o elevación general y progresiva del perfil longitudinal del lecho de un cauce como resultado de la deposición de sedimentos.

Ancho de Acera – Espacio sin obstrucciones entre barreras o entre un cordón y una barrera, exclusivamente para uso peatonal.

Canaleta de Goteo – Depresión lineal en la parte inferior de los elementos para permitir que gotee el agua que fluye en la superficie.

Cauce Estable – Condición que existe cuando una corriente de agua tiene una pendiente y una sección transversal que permiten que su cauce transporte el agua y los sedimentos entregados desde la cuenca colectora sin degradación, agradación ni erosión significativa de las márgenes.

Cuenca Colectora – Área confinada por divisorias de drenaje y que con frecuencia tiene solamente un punto de descarga; área total de drenaje que contribuye escurrimiento a un único punto.

Cuenca de Retención – Instalación para el control de aguas pluviales que embalsa la escurrimiento y la descarga temporalmente a través de una estructura hidráulica de salida hacia un sistema de transporte aguas abajo.

Curso de Agua – Cualquier arroyo, río, lago, laguna u océano.

Degradación – Descenso general y progresivo del perfil longitudinal del lecho de un cauce como resultado de la erosión a largo plazo.

Descarga de Diseño – Máximo flujo de agua que el puente puede acomodar sin superar las limitaciones de diseño adoptadas.

Estructura para Corrección de un Cauce – Cualquier obra construida en una corriente o colocada sobre, adyacente o en la proximidad de un curso de agua para desviar la corriente, inducir deposición de sedimentos, inducir socavación o alterar de alguna otra manera el flujo y los regímenes de los sedimentos del curso de agua.

Geomorfología del Curso de Agua – Estudio de un curso de agua y su zona de inundación en relación con su topografía, la configuración general de su superficie y los cambios que ocurren debido a la erosión y a la acumulación de arrastres erosivos.

Hidráulica – Ciencia que estudia el comportamiento y flujo de los líquidos, especialmente en tuberías y canales.

Hidrología – Ciencia que estudia la ocurrencia, distribución y circulación del agua en la tierra, incluyendo las precipitaciones, escorrentías y aguas subterráneas.

Imbornal – Dispositivo para drenar agua a través del tablero.

Inundación de Cien Años – Inundación provocada por una tormenta y/o marea que tiene una probabilidad del 1 por ciento de ser igualada o superada en un año dado.

Inundación de Control para Socavación del Puente – Inundación de control para socavación. Inundación resultante de una tormenta, marea de tormenta y/o marea que tiene un caudal mayor que la inundación de diseño para socavación, pero en ningún caso una inundación con un intervalo de recurrencia superior al período de 500 años habitualmente usado. La inundación de control para socavación del puente se utiliza para investigar y evaluar las fundaciones de un puente a fin de determinar si éstas pueden soportar dicho flujo y la socavación asociada permaneciendo estable. Ver también superinundación.

Inundación de Desbordamiento – Caudal de inundación que, si es superado, provoca que haya un flujo sobre una carretera o puente, sobre una divisoria de drenaje, o a través de estructuras provistas para alivio de emergencia. La peor condición de socavación puede ser provocada por la inundación de desbordamiento.

Inundación de Diseño para Socavación del Puente – Caudal de inundación menor o igual que la inundación de 100 años de período de recurrencia que provoca la máxima socavación en las fundaciones del puente. La carretera o el puente se pueden inundar en presencia del nivel de agua correspondiente a la inundación de diseño para socavación del puente. La peor condición de socavación puede ser provocada por la inundación de desbordamiento, como resultado del potencial flujo a presión.

Inundación de Diseño para una Abertura para un Curso de Agua – Descarga, volumen, nivel o altura de cresta de ola pico y la probabilidad de excedencia asociada que se seleccionan para el diseño de una carretera o puente sobre un curso de agua o zona de inundación. Por definición, la carretera o puente no se inundarán en presencia del nivel de agua correspondiente a la inundación de diseño para una abertura para un curso de agua.

Inundación de Población Mixta – Caudales de inundación originados por dos o más factores causales, por ejemplo, una marea viva provocada por vientos de mar generados por un huracán o precipitaciones sobre un manto de nieve.

Inundación de Quinientos Años – Inundación provocada por una tormenta y/o marea que tiene una probabilidad del 0,2 por ciento de ser igualada o superada en un año dado.

Luz libre – Espacio horizontal o vertical sin obstrucciones.

Marea – Elevación y descenso periódico del nivel de los océanos que se produce como resultado de los efectos de la luna y el sol actuando sobre la tierra en rotación.

Marea Viva – Marea de rango aumentado que se produce aproximadamente cada dos semanas, cuando hay luna llena o nueva.

Peralte – Inclinación de la superficie de la calzada para contrarrestar parcialmente las fuerzas centrífugas que actúan sobre los vehículos en las curvas horizontales.

Puente de Alivio – Abertura en un terraplén en una zona de inundación para permitir el pasaje del cauce mayor.

Socavación Generalizada o de Contracción – Socavación de un cauce o zona de inundación que no está localizada en una pila u otra obstrucción del flujo. En un cauce la socavación generalizada/de contracción habitualmente afecta la totalidad del ancho del cauce o la mayor parte del mismo, y típicamente es provocada por una contracción del flujo.

Socavación Localizada – Socavación de un cauce o zona de inundación que está localizada en una pila, estribo u otra obstrucción del flujo.

Superinundación – Cualquier inundación o caudal de marea con un caudal mayor que el de la inundación de cien años pero no mayor que el de una inundación de quinientos años.

Zona Libre – Área relativamente plana, sin obstrucciones, más allá del borde de la calzada para la recuperación de vehículos descarrilados. La calzada no incluye banquetas ni carriles auxiliares.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN

2.3.1 Ubicación

2.3.1.1 Requisitos Generales

La elección de la ubicación de los puentes se deberá justificar mediante el análisis de alternativas, considerando aspectos económicos, técnicos, sociales y ambientales, como así también los costos de mantenimiento e inspección asociados con las estructuras y con la importancia relativa de los aspectos antes mencionados.

Según los riesgos involucrados, se deberá cuidar de elegir ubicaciones favorables para los puentes, es decir, ubicaciones que:

- Se ajusten a las condiciones creadas por el obstáculo a cruzar;
- Faciliten un diseño, construcción, operación, inspección y mantenimiento prácticos y efectivos desde el punto de vista de los costos;
- Satisfagan los niveles de servicio y seguridad de tráfico deseados; y
- Minimicen los impactos adversos de la carretera.

2.3.1.2 Cruces sobre Cursos de Agua y Zonas de Inundación

Los cruces sobre cursos de agua se deben ubicar considerando los costos del capital inicial requerido para la construcción y la optimización de los costos totales, incluyendo las obras de corrección del cauce y las medidas de mantenimiento necesarias para reducir la erosión. Los estudios de las posibles ubicaciones alternativas del cruce

C2.3.1.2

Las Reglamentaciones Federales y el capítulo sobre Planificación y Ubicación de la publicación *AASHTO Model Drainage Manual* contienen lineamientos detallados sobre procedimientos para evaluar la ubicación de puentes y sus accesos en zonas de inundación (ver Comentario sobre el Artículo 2.6.1). En las decisiones sobre la ubicación de

deben incluir la evaluación de:

- Las características hidrológicas e hidráulicas del curso de agua y su zona de inundación, incluyendo la estabilidad del cauce, historial de inundaciones y, en cruces estuarinos, rangos y ciclos de las mareas;
- Los efectos del puente propuesto sobre los patrones de flujo de las inundaciones y el potencial de socavación resultante en las fundaciones del puente;
- El potencial de crear nuevos riesgos de inundación o aumentar los riesgos de inundación existentes; y
- Los impactos ambientales sobre el curso de agua y su zona de inundación.

Los puentes y sus accesos en las zonas de inundación se deberían ubicar y diseñar considerando las metas y objetivos del manejo de la zona de inundación, incluyendo:

- Prevenir el uso y desarrollo no económico, riesgoso o incompatible de las zonas de inundación;
- Evitar invasiones transversales y longitudinales significativas, siempre que sea posible;
- Minimizar los impactos adversos de la carretera y mitigar los impactos inevitables, siempre que sea posible;
- Lograr consistencia con la intención de las normas y los criterios del Programa Nacional de Seguro contra las Inundaciones, siempre que corresponda;
- Agradación o degradación a largo plazo; y
- Compromisos asumidos para obtener las correspondientes autorizaciones ambientales.

2.3.2 Disposición del Predio del Puente

2.3.2.1 Requisitos Generales

La ubicación y alineación del puente se deberían seleccionar de manera de satisfacer los requisitos de tráfico tanto sobre el puente como debajo del mismo. Se deberían considerar posibles variaciones futuras de la alineación o el ancho del curso de agua, la carretera o las vías férreas cruzadas por el puente.

Cuando corresponda, se debería considerar la futura adición de instalaciones de tránsito masivo o el ensanchamiento del puente.

un puente deberían participar Ingenieros familiarizados con esta publicación y experimentados en la aplicación de sus lineamientos y procedimientos. Generalmente resulta más seguro y eficiente desde el punto de vista de los costos evitar problemas hidráulicos a través de la selección de ubicaciones favorables antes que intentar minimizar los problemas en etapas posteriores del proyecto a través de medidas de diseño.

Siempre que sea posible, la experiencia recabada durante la construcción de otros puentes debería formar parte de la calibración o verificación de los modelos hidráulicos. La evaluación del comportamiento de puentes existentes durante inundaciones ocurridas en el pasado generalmente resulta útil para seleccionar el tipo, tamaño y ubicación de un nuevo puente.

C2.3.2.1

Aunque la ubicación de la estructura de un puente sobre un curso de agua generalmente es determinada por otras consideraciones diferentes a la colisión de embarcaciones, siempre que sea posible y practicable se deberían considerar las siguientes preferencias:

- Ubicar el puente alejado de cualquier curva del canal de navegación. La distancia al puente debería

permitir que las embarcaciones se puedan alinear antes de pasar debajo del puente, generalmente ocho veces la longitud de la embarcación. Esta distancia se debería incrementar aún más si en el predio donde se construirá el puente prevalecen las corrientes y vientos de gran velocidad.

- Cruzar el canal de navegación con un ángulo aproximadamente recto y en forma simétrica con respecto al canal de navegación.
- Proveer una distancia adecuada a partir de las zonas donde se produce congestión de embarcaciones, las zonas de maniobras para amarre u otros problemas de navegación.
- Ubicar el puente donde el curso de agua sea poco profundo o angosto y las pilas del puente se puedan ubicar fuera del alcance de las embarcaciones.

2.3.2.2 Seguridad del Tráfico

2.3.2.2.1 Protección de las Estructuras

Se debe considerar el tránsito seguro de los vehículos sobre o debajo del puente. Se deberían minimizar los riesgos para los vehículos que se descarrilan dentro de la zona libre, colocando los obstáculos a una distancia segura de los carriles de circulación.

Las columnas o muros para estructuras de separación de rasantes se deberían ubicar de conformidad con el concepto de zona libre según lo indicado en el Capítulo 3 de la publicación *AASHTO Roadside Design Guide*, 1996. En aquellos casos en los cuales no fuera posible satisfacer los requisitos de esta publicación debido a limitaciones relacionadas con los costos de las estructuras, tipo de estructura, volumen y velocidad de diseño del tráfico pasante, disposición de los tramos, oblicuidad del cruce y características del terreno, la columna o el muro se deberían proteger usando un guardarriel u otros dispositivos tipo barrera. Si fuera posible, el guardarriel u otro dispositivo debería ser estructuralmente independiente y tener la cara que da hacia la carretera a una distancia de al menos 600 mm de la cara de la pila o estribo, a menos que se provea una barrera rígida.

La cara del guardarriel u otro dispositivo debería estar a una distancia de al menos 600 mm de la línea de la banquina normal.

2.3.2.2.2 Protección de los Usuarios

Se deben proveer barandas a lo largo de los bordes de las estructuras conforme a los requisitos de la Sección 13.

C2.3.2.2.1

La intención de proveer barreras estructuralmente independientes es impedir la transmisión de sollicitaciones desde la barrera a la estructura a proteger.

C2.3.2.2.2

Todas las estructuras de protección deben tener características superficiales y transiciones adecuadas para redirigir el tráfico descarrilado de manera segura.

En el caso de puentes móviles, se deben proveer señales de advertencia, semáforos, campanas de alarma, portones, barreras y otros dispositivos de seguridad para la protección del tráfico peatonal, ciclista y vehicular. Éstos se deben diseñar de manera que operen antes de la apertura del tramo móvil y permanezcan en operación hasta que el tramo se haya cerrado completamente. Los dispositivos deben satisfacer los requisitos correspondientes para "Control del Tráfico en Puentes Móviles" de la publicación *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* o según lo indicado en los planos.

Si el Propietario así lo especifica, las aceras deben estar protegidas por medio de barreras.

Las estructuras de protección incluyen aquellas que permiten una separación segura y controlada del tráfico en instalaciones multimodales que utilizan el mismo derecho de paso.

Algunas condiciones especiales, tales como alineaciones curvas, visibilidad impedida, etc., pueden justificar la protección mediante barreras, aún si las velocidades de diseño son bajas.

2.3.2.2.3 Normas Geométricas

Se deben satisfacer los requisitos de la publicación *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de AASHTO; cualquier excepción a la misma debe estar debidamente justificada y documentada. El ancho de las banquetas y la geometría de las barreras para protección del tráfico deben satisfacer las especificaciones del Propietario.

2.3.2.2.4 Superficies de Rodamiento

Las superficies de rodamiento sobre un puente deben tener características antideslizantes, coronamiento, drenaje y peralte de acuerdo con el documento *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* o requisitos locales.

2.3.2.2.5 Colisión de embarcaciones

Las estructuras de los puentes deben estar protegidas contra la colisión de embarcaciones ya sea mediante sistemas de defensa o dolines como se especifica en el Artículo 3.14.15, o bien se deben diseñar para soportar las solicitaciones provocadas por una colisión según lo especificado en el Artículo 3.14.14.

C2.3.2.2.5

En algunos puentes se puede eliminar la necesidad de construir dolines o sistemas de defensa, ubicando criteriosamente las pilas del puente. Se pueden encontrar lineamientos sobre el uso de dolines y sistemas de defensa en la publicación *AASHTO Highway Drainage Guidelines*, Volumen 7 (Análisis Hidráulicos para la Determinación de la Ubicación y el Diseño de Puentes); y en la publicación *AASHTO Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*.

2.3.3 Luces

2.3.3.1 Luces para la Navegación

Los permisos necesarios para construir un puente sobre

C2.3.3.1

Cuando se requieren permisos para construir un puente,

una vía navegable se deben obtener de la Guardia Costera de los Estados Unidos de América y/o de otras agencias competentes. Las luces para la navegación, tanto las verticales como las horizontales, se deben establecer en cooperación con la Guardia Costera.

2.3.3.2 Luces Verticales para el Tránsito Vial

La luz vertical de las estructuras viales deben satisfacer la publicación *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de AASHTO para la Clasificación Funcional de la Carretera; cualquier excepción a la misma se debe justificar debidamente. Se deben investigar posibles reducciones de la luz vertical provocadas por el asentamiento de las estructuras. Si el asentamiento anticipado es mayor que 25 mm, este asentamiento se debe sumar a la luz especificada.

La luz vertical hasta las señales aéreas y pasarelas peatonales debe ser 300 mm mayor que la luz hasta la estructura vial, y la luz vertical desde la calzada hasta el elemento inferior de las estructuras aéreas reticuladas no debería ser menor que 5300 mm.

2.3.3.2 Luces Horizontales para el Tránsito Vial

El ancho del puente no debe ser menor que el ancho de la sección de la carretera de acceso, incluyendo las banquetas o cordones, las cunetas y las aceras.

La luz horizontal debajo del puente debe satisfacer los requisitos del Artículo 2.3.2.2.1.

No se debería ubicar ningún objeto sobre o debajo de un puente, a excepción de una barrera, a menos de 1200 mm del borde de un carril de circulación. La cara interna de la barrera no debería estar a menos de 600 mm de la cara del objeto o del borde de un carril de circulación.

2.3.3.4 Cruces Ferroviarios

Las estructuras diseñadas para cruzar sobre vías ferroviarias deben satisfacer las normas establecidas y habitualmente empleadas por la empresa ferroviaria afectada. Estas estructuras de cruce deben satisfacer las leyes federales, estatales, del condado y municipales aplicables.

Las reglamentaciones, códigos y normas deberían, como mínimo, satisfacer las especificaciones y normas de diseño de AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association), AAR (Association of

la coordinación con la Guardia Costera se debe iniciar cuanto antes a fin de evaluar las necesidades de navegación y los correspondientes requisitos de ubicación y diseño para el puente.

Los procedimientos para considerar los requisitos navegacionales para puentes, incluyendo la coordinación con la Guardia Costera, se encuentran en el Código de Reglamentaciones Federales, CFR 23, Parte 650, Subparte H, "Luces para la Navegación", y 33 U.S.C. 401, 491, 511 y siguientes.

C2.3.3.2

La luz mínima especificada debería incluir 150 mm para posibles sobrecapas a colocar en el futuro. Si el Propietario no contempla la futura colocación de sobrecapas este requisito se puede anular.

Las señales aéreas, los puentes peatonales y las estructuras aéreas reticuladas requieren mayor luz debido a su menor resistencia al impacto.

C2.3.3.3

El ancho utilizable de las banquetas generalmente se debería tomar como el ancho pavimentado.

La intención de las distancias mínimas especificadas entre el borde de los carriles de circulación y un objeto fijo es impedir la colisión contra vehículos ligeramente descarrilados y aquellos que transportan cargas anchas.

C2.3.3.4

Se llama la atención del lector particularmente a los siguientes capítulos del *Manual for Railway Engineering (AREMA 2003)*:

- Capítulo 7 – Estructuras de madera,
- Capítulo 8 – Estructuras de Hormigón y Fundaciones,
- Capítulo 9 – Cruces Carretero-Ferroviarios,
- Capítulo 15 – Estructuras de Acero, y
- Capítulo 18 – Luces Libres.

American Railroads) y AASHTO.

Los requisitos de las empresas ferroviarias afectadas y el Manual de AREMA se deberían utilizar para determinar:

- Luces libres,
- Cargas,
- Protección de pilas,
- Impermeabilización y
- Protección contra explosiones.

2.3.4 Ambiente

Se debe considerar el impacto de un puente y sus accesos sobre las comunidades locales, los sitios históricos, las tierras pantanosas y otras áreas sensibles desde el punto de vista estético, ambiental y ecológico. Se debe garantizar el cumplimiento de las leyes estatales sobre el agua; las reglamentaciones federales y estatales referentes a la invasión de zonas de inundación, peces y hábitat de vida silvestre; y los requisitos del Programa Nacional de Seguro contra las Inundaciones. Se deben considerar la geomorfología del curso de agua, las consecuencias de la socavación del lecho, la eliminación de la vegetación estabilizadora de los taludes y, cuando corresponda, los impactos sobre la dinámica de las mareas estuarinas.

C2.3.4

La geomorfología de un curso de agua, por ejemplo de un curso fluvial, es un estudio de la estructura y formación de las características de la tierra que se dan como resultado de las fuerzas del agua. Para los propósitos de esta sección, esto implica la evaluación del potencial de agradación, degradación o migración lateral del curso de agua.

2.4 INVESTIGACIÓN DE LAS FUNDACIONES

2.4.1 Requisitos Generales

Se debe llevar a cabo un estudio subsuperficial que incluya perforaciones y ensayos del suelo de acuerdo con los requisitos del Artículo 10.4 a fin de obtener información pertinente y suficiente para el diseño de las unidades de la subestructura. En los estudios económicos y estéticos realizados para determinar la ubicación y el tipo de puente se deberían considerar el tipo y el costo de las fundaciones.

2.4.2 Estudios Topográficos

Se debe establecer la topografía actual del sitio de emplazamiento del puente mediante mapas de curvas de nivel y fotografías. Estos estudios deben incluir los antecedentes del predio en términos de los movimientos de masas de suelo, erosión de suelos y rocas y serpenteo de los cursos de agua.

2.5 OBJETIVOS DE DISEÑO

2.5.1 Seguridad

La responsabilidad primaria del Ingeniero será velar por la seguridad pública.

C2.5.1

En estas Especificaciones se incluyen requisitos mínimos para asegurar la seguridad estructural de los puentes en cuanto medios de transporte. La filosofía para

lograr un nivel de seguridad estructural adecuado se define en el Artículo 1.3.

2.5.2 Serviciabilidad

2.5.2.1 Durabilidad

2.5.2.1.1 Materiales

La documentación técnica debe exigir materiales de calidad y la aplicación de estrictas normas de fabricación y montaje.

El acero estructural debe ser de tipo autoprotector, o bien tener sistemas de recubrimiento de larga duración o protección catódica.

Las barras de armadura y cables de pretensado de los elementos de hormigón que se anticipa estarán expuestos a sales transportadas por el aire o por el agua deben estar protegidos mediante una combinación adecuada de resina epoxi y/o recubrimiento galvanizado, recubrimiento de hormigón, densidad o composición química del hormigón, incluyendo incorporación de aire y una pintura no porosa sobre la superficie del hormigón o protección catódica.

Los ductos que contienen cables de pretensado deben ser llenados con mortero o protegidos contra la corrosión de alguna otra manera.

Los accesorios y sujetadores usados en las construcciones de madera deben ser de acero inoxidable, hierro maleable, aluminio o acero galvanizado, recubiertos de cadmio o con algún otro recubrimiento. Los elementos de madera se deben tratar con conservantes.

Los productos de aluminio se deben aislar eléctricamente de los elementos de acero y hormigón.

Se deben proteger los materiales susceptibles a los daños provocados por la radiación solar y/o la contaminación del aire.

Se debe tomar en consideración la durabilidad de los materiales en contacto directo con el suelo y/o el agua.

2.5.2.1.2 Medidas de Autoprotección

Se deben proveer canaletas de goteo continuas a lo largo de la cara inferior de los tableros de hormigón a una distancia no mayor que 250 mm a partir de los bordes de las fascias. Si el tablero está interrumpido por una junta sellada, todas las superficies de las pilas y estribos, a excepción de

C2.5.2.1.1

La intención de este artículo es reconocer la importancia de la corrosión y el deterioro de los materiales estructurales para el comportamiento a largo plazo de un puente. El Artículo 5.12 contiene otros requisitos referidos a la durabilidad.

Aparte del deterioro del propio tablero de hormigón, el problema de mantenimiento más frecuente en los puentes es la desintegración de los extremos de las vigas, apoyos, pedestales, pilas y estribos provocada por la filtración de las sales transportadas por el agua a través de las uniones del tablero. La experiencia parece indicar que un tablero estructuralmente continuo proporciona la mejor protección posible a los elementos ubicados debajo del mismo. Se deberían tomar en cuenta las potenciales consecuencias de utilizar sales anticongelantes en estructuras con tableros de acero no hormigonados y tableros de madera no pretensados.

Estas Especificaciones permiten utilizar tableros discontinuos si no hay un uso importante de sales anticongelantes. Se ha descubierto que las juntas de alivio transversales aserradas en los tableros de hormigón colado in situ no tienen ningún valor práctico si hay acción compuesta. Por motivos de continuidad estructural y en ausencia de juntas de expansión, generalmente el uso de tableros continuos, independientemente de la ubicación, será favorable desde el punto de vista económico.

Las vigas longitudinales transformadas en simplemente apoyadas por medio de juntas deslizantes, con o sin orificios ranurados para bulones, tienden a "inmovilizarse" debido a la acumulación de los productos de la corrosión y generan problemas de mantenimiento. Gracias a la disponibilidad generalizada de las computadoras, el análisis de un tablero continuo ya no constituye un problema.

La experiencia indica que, desde el punto de vista de la durabilidad, todas las juntas se deberían considerar sujetas a algún grado de movimiento y filtraciones.

C2.5.2.1.2

Con frecuencia se ha observado acumulación de agua en los asientos de los estribos, probablemente como consecuencia de las tolerancias constructivas y/o la inclinación de los mismos. La intención de la pendiente de 15 por ciento especificada en combinación con las juntas

los asientos, deben tener una pendiente mínima hacia sus bordes de 5 por ciento. Si se trata de juntas abiertas esta pendiente mínima se debe aumentar a 15 por ciento. En el caso de las juntas abiertas los apoyos deben estar protegidos contra el contacto con las sales y detritos.

Las superficies de rodamiento se deben interrumpir en las juntas del tablero y se debe proveer una transición suave hacia el dispositivo que forma la junta del tablero.

Los encofrados de acero se deben proteger contra la corrosión de acuerdo con las especificaciones del Propietario.

2.5.2.2 Inspeccionabilidad

Cuando no sea posible emplear otros medios de inspección se deberán proveer escaleras para inspección, pasarelas, bocas de acceso cubiertas y, en caso de ser necesario, instalaciones para su iluminación.

Siempre que sea factible se debe proveer acceso para permitir inspecciones manuales o visuales del interior de los elementos celulares y de las áreas de interfase donde se pueden producir movimientos relativos, incluyendo un espacio libre superior adecuado en las secciones encajonadas.

2.5.2.3 Mantenimiento

Se deben evitar los sistemas estructurales de difícil mantenimiento. Si las condiciones climáticas y/o el tráfico determinan que podría ser necesario reemplazar el tablero del puente antes del final de la vida de servicio requerida, la documentación técnica debe indicar cuáles serán las provisiones para el reemplazo del tablero, o bien se debe proveer resistencia estructural adicional.

Las áreas alrededor de los asientos y debajo de las juntas del tablero se deberían diseñar de manera de facilitar el tesado, limpieza, reparación y reemplazo de los rodamientos y juntas.

Los puntos de tesado deben estar indicados en los planos, y la estructura se debe diseñar para las fuerzas de tesado especificadas en el Artículo 3.4.3. Se deben evitar las cavidades y rincones inaccesibles. Se deben evitar o asegurar las cavidades que podrían inducir a las personas o animales a habitarlas.

2.5.2.4 Transitabilidad

El tablero del puente se debe diseñar de manera que permita el movimiento suave del tráfico. En los caminos

abiertas es permitir que las lluvias eliminen las sales y detritos.

Antiguamente en muchos puentes de menor tamaño no se proveía ningún dispositivo de expansión en la "unión fija", y la superficie de rodamiento simplemente se continuaba sobre la unión para lograr una superficie continua. Debido a que el centro de rotación de la superestructura siempre está debajo de la superficie, la "unión fija" en realidad se mueve por los efectos de las cargas y los efectos ambientales, provocando fisuras, filtraciones y la desintegración de la superficie de rodamiento.

C2.5.2.2

El documento *Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges* exige escotillas de acceso de un tamaño mínimo de 750 mm x 1200 mm, aberturas de mayor tamaño en los diafragmas interiores, y ventilación mediante drenes o venteos protegidos con rejillas a intervalos no mayores de 15.000 mm. Estas recomendaciones se deberían utilizar para los puentes diseñados conforme con estas Especificaciones.

C2.5.2.3

Se debe tener en cuenta la continuidad del tráfico durante las operaciones de reemplazo, ya sea realizando los reemplazos por etapas correspondientes a anchos parciales o bien utilizando una estructura paralela adyacente.

Las medidas para aumentar la durabilidad de los tableros de hormigón y madera incluyen revestir con resina epoxi las barras de armadura, los ductos de postesado y los cables de pretensado del tablero. Para proteger el acero negro en el hormigón del tablero se pueden incorporar aditivos de microsilíce y/o nitrato de calcio, se pueden utilizar membranas impermeabilizantes y se pueden colocar sobrecapas.

pavimentados se debería disponer una losa estructural de transición entre el acceso y el estribo del puente. En los planos o en las especificaciones o requisitos especiales se deben indicar las tolerancias constructivas con respecto al perfil del tablero terminado.

El número de juntas del tablero no debe ser mayor que el mínimo número que resulte práctico. En los tableros de hormigón expuestos al tráfico los bordes de las juntas se deberían proteger contra la abrasión y las descantilladuras. Los planos de las juntas prefabricadas deben especificar que todos los elementos que componen la junta deben ser montados como una unidad.

Si se utilizan tableros de hormigón sin una sobrecapa inicial, se debería considerar la adición de un espesor adicional de 10 mm que permita corregir el perfil del tablero por pulido y compensar la pérdida de espesor producida por la abrasión.

2.5.2.5 Instalaciones para Servicios Públicos

Cuando resulte necesario se deberán tomar recaudos para soportar y permitir el mantenimiento de las cañerías, cables y demás componentes de los servicios públicos.

2.5.2.6 Deformaciones

2.6.2.6.1 Requisitos Generales

Los puentes se deberían diseñar de manera de evitar los efectos estructurales o psicológicos indeseados que provocan las deformaciones. A pesar de que, salvo en el caso de los tableros de placas ortótropas, las limitaciones referidas a deflexiones y profundidad son optativas, cualquier desviación importante de las prácticas relacionadas con la esbeltez y las deflexiones que en el pasado resultaron exitosas debería provocar la revisión del diseño para determinar que el puente se comportará satisfactoriamente.

Si se emplean análisis dinámicos éstos deben cumplir con los principios y requisitos del Artículo 4.7

C2.5.2.6.1

En las losas de hormigón y puentes metálicos las deformaciones bajo niveles de carga de servicio pueden provocar el deterioro de las superficies de rodamiento y fisuración localizada que podría afectar la serviciabilidad y durabilidad, aún cuando sean autolimitantes y no representen una fuente potencial de colapso.

Desde 1905 se ha intentado evitar estos efectos limitando las relaciones profundidad-longitud de tramo de las cerchas y vigas, y con este objetivo en la década de 1930 se establecieron límites de deflexión bajo sobrecargas vivas. En un estudio sobre las limitaciones a la deflexión de los puentes (*ASCE 1958*) un comité de ASCE descubrió que estos enfoques tradicionales presentaban numerosos inconvenientes y observaron, por ejemplo, lo siguiente:

El relevamiento limitado realizado por el Comité no halló evidencia de daños estructurales severos que pudieran ser atribuidos a una deflexión excesiva. Los pocos ejemplos de conexiones en vigas longitudinales o pisos de hormigón fisurados probablemente se podrían corregir de manera más eficiente modificando el diseño que imponiendo limitaciones más estrictas a las deflexiones. Por otra parte, tanto el estudio histórico como los resultados del relevamiento indican claramente que

la reacción psicológica desfavorable frente a la deflexión de un puente es probablemente la fuente de preocupación más frecuente e importante relacionada con la flexibilidad de los puentes. Sin embargo, aún no se ha podido definir cuáles son las características de vibración de los puentes que los peatones y pasajeros de vehículos consideran objetables.

Desde la publicación de este estudio no se han realizado estudios detallados sobre la respuesta humana al movimiento. Actualmente existe consenso acerca de que el principal factor que afecta la sensibilidad humana en los puentes es la aceleración, y no la deflexión, la velocidad, ni la tasa de variación de la aceleración, pero esto aún constituye un problema subjetivo de difícil resolución. Por lo tanto, aún no existen lineamientos sencillos y definitivos sobre los límites para la deflexión estática tolerable ni para el movimiento dinámico. Entre las especificaciones actuales, el documento *Ontario Highway Bridge Design Code* (1991) contiene los requisitos más exhaustivos en relación con las vibraciones que pueden tolerar los seres humanos.

2.5.2.6.2 Criterios para la Deflexión

Los criterios de esta sección se deben considerar optativos, a excepción de los siguientes:

- Los requisitos para tableros ortótropos se deben considerar obligatorios.
- Los requisitos del Artículo 12.14.5.9 para estructuras de hormigón armado prefabricado que tienen tres lados se deben considerar obligatorios.
- Los tableros metálicos reticulados y otros tableros livianos metálicos y de hormigón deben satisfacer los requisitos de serviciabilidad del Artículo 9.5.2.

Para la aplicación de estos criterios la carga del vehículo debe incluir el incremento por carga dinámica.

Si un Propietario decide invocar el control de las deflexiones se pueden aplicar los siguientes principios:

- Al investigar la máxima deflexión absoluta, todos los

C2.5.2.6.2

Estos requisitos permiten usar las prácticas tradicionales para el control de las deflexiones, pero no las alientan. En el pasado se permitía que los diseñadores excedieran estos límites a su propia discreción. A menudo las flechas calculadas para las estructuras han resultado difíciles de verificar en obra en razón de las numerosas fuentes de rigidez no contempladas en los cálculos. A pesar de esto, muchos propietarios y diseñadores se sienten cómodos con los anteriores requisitos para limitar la rigidez global de los puentes. Su deseo de contar con algunos lineamientos sobre este tema, expresado con frecuencia durante el desarrollo de estas Especificaciones, ha dado por resultado la retención de criterios opcionales, excepto para el caso de los tableros ortótropos para los cuales los requisitos son obligatorios. Los criterios para la deflexión también son obligatorios para los tableros livianos contruidos de metal y hormigón, como por ejemplo los tableros reticulados sin rellenar que trabajan de forma compuesta con losas de hormigón armado, como se indica en el Artículo 9.5.2.

En Wright y Walker (1971) se pueden encontrar lineamientos adicionales sobre la deflexión de puentes de acero.

En los Capítulos 7, 8 y 9 de Ritter (1990) se discuten más detalladamente algunas consideraciones y recomendaciones adicionales sobre la deflexión de los elementos de los puentes de madera.

En el caso de puentes multiviga, esto equivale a decir

carriles de diseño deberían estar cargados, y se debería asumir que todos los elementos portantes se deforman igualmente;

que el factor de distribución de la deflexión es igual al número de carriles dividido por el número de vigas.

- Para el diseño compuesto, el diseño de la sección transversal debería incluir la totalidad del ancho de la carretera y las porciones estructuralmente continuas de las barandas, aceras y barreras divisorias;
- Al investigar los máximos desplazamientos relativos, el número y posición de los carriles cargados se deberían seleccionar de manera que se produzca el peor efecto diferencial;
- Se debería utilizar la porción correspondiente a la sobrecarga viva de la Combinación de Cargas de Servicio I de la Tabla 3.4.1-1, incluyendo el incremento por carga dinámica, IM;
- La sobrecarga viva se debe tomar del Artículo 3.6.1.3.2;
- Se deberían aplicar los requisitos del Artículo 3.6.1.1.2; y
- Para puentes oblicuos se puede usar una sección transversal recta, y para puentes curvos y puentes curvos oblicuos se puede usar una sección transversal radial.

En ausencia de otros criterios, para las construcciones de acero, aluminio y/u hormigón se pueden considerar los siguientes límites de deflexión:

- Carga vehicular, general..... Longitud/800,
- Cargas vehiculares y/o peatonales..... Longitud/1000,
- Carga vehicular sobre voladizos..... Longitud/300, y
- Cargas vehiculares y/o peatonales sobre voladizos ..
..... Longitud/375

Para las vigas de acero de sección doble T, y para las vigas de acero tipo cajón y tubulares, se deben aplicar los requisitos de los Artículos 6.10.4.2 y 6.11.4, respectivamente, referentes al control de las deflexiones permanentes por medio del control de las tensiones en las alas.

En ausencia de otros criterios, para las construcciones de madera se pueden considerar los siguientes límites de deflexión:

- Cargas vehiculares y/o peatonales.....Longitud/425, y
- Carga vehicular sobre tablonos y paneles de madera (máxima deflexión relativa entre bordes adyacentes) 2,5 mm

Para los tableros de placas ortótropas se deberán aplicar los siguientes requisitos:

- Carga vehicular sobre placa del tableroLongitud/300
- Carga vehicular sobre los nervios de un tablero ortótropo metálico Longitud/1000, y
- Carga vehicular sobre los nervios de tableros ortótropos metálicos (máxima deflexión relativa entre nervios adyacentes) 2,5 mm

Desde un punto de vista estructural, las grandes deflexiones de los elementos de madera provocan que los sujetadores se aflojen y que los materiales frágiles, tales como el pavimento asfáltico, se fisuren y rompan. Además, los elementos que se comban por debajo del plano horizontal presentan una apariencia pobre y pueden hacer que el público perciba el puente como inadecuado desde el punto de vista estructural. Las deflexiones provocadas por las cargas vehiculares móviles también pueden producir movimientos verticales y vibraciones molestas para los conductores y alarmanes para los peatones (Ritter, 1990).

Las deformaciones excesivas pueden provocar el deterioro prematuro de la superficie de rodamiento y afectar el comportamiento de los sujetadores, pero aún no se han establecido límites para este último punto.

La intención del criterio de la deflexión relativa es proteger la superficie de desgaste de la desadherencia y fracturas que provocaría la excesiva flexión del tablero. La restricción sobre el desplazamiento relativo de los nervios podrá ser revisada o anulada una vez que haya más datos disponibles que permitan formular requisitos adecuados en función del espesor y las propiedades físicas de la superficie de rodamiento utilizada.

2.5.2.6.3 Criterios Opcionales para Relaciones Longitud de Tramo-Profundidad

C2.5.2.6.3

Si un Propietario decide invocar controles sobre las relaciones longitud-profundidad, en ausencia de otros criterios se pueden considerar los límites indicados en la Tabla 1, donde *S* es la longitud de la losa y *L* es la longitud de tramo, ambas en mm. Si se utiliza la Tabla 1, a menos que se especifique lo contrario los límites indicados en la misma se deben aplicar a la profundidad total.

La Tabla 1 contiene las profundidades mínimas utilizadas tradicionalmente para superestructuras de profundidad constante que también aparecían en ediciones anteriores de las *Especificaciones Normalizadas para Puentes Carreteros* de AASHTO, aunque con algunas modificaciones.

Tabla 2.5.2.6.3-1 – Profundidades mínimas utilizadas tradicionalmente para superestructuras de profundidad constante.

Superestructura		Profundidad mínima (incluyendo el tablero) Si se utilizan elementos de profundidad variable, estos valores se pueden ajustar para considerar los cambios de rigidez relativa de las secciones de momento positivo y negativo.	
Material	Tipo	Tramos simples	Tramos continuos
Hormigón Armado	Losas con armadura principal paralela al tráfico	$\frac{1,2(S + 3000)}{30}$	$\frac{S + 3000}{30} \geq 165 \text{ mm}$
	Vigas T	0,070 <i>L</i>	0,065 <i>L</i>
	Vigas cajón	0,060 <i>L</i>	0,055 <i>L</i>
	Vigas de estructuras peatonales	0,035 <i>L</i>	0,033 <i>L</i>
Hormigón Pretensado	Losas	0,030 <i>L</i> $\geq 165 \text{ mm}$	0,027 <i>L</i> $\geq 165 \text{ mm}$
	Vigas cajón coladas in situ	0,045 <i>L</i>	0,040 <i>L</i>
	Vigas doble T prefabricadas	0,045 <i>L</i>	0,040 <i>L</i>
	Vigas de estructuras peatonales	0,033 <i>L</i>	0,030 <i>L</i>
	Vigas cajón adyacentes	0,030 <i>L</i>	0,025 <i>L</i>
Acero	Profundidad total de una viga doble T compuesta	0,040 <i>L</i>	0,032 <i>L</i>
	Profundidad de la porción de sección doble T de una viga doble T compuesta	0,033 <i>L</i>	0,027 <i>L</i>
	Cerchas	0,100 <i>L</i>	0,100 <i>L</i>

2.5.2.7 Consideración de Futuros Ensanchamientos

2.5.2.7.1 Vigas Exteriores en Puentes Multiviga

A menos que un futuro ensanchamiento sea virtualmente inconcebible, la capacidad de carga de las vigas exteriores no debe ser menor que la capacidad de carga de una viga interior.

C2.5.2.7.1

Este requisito se aplica a cualquier elemento longitudinal sometido a flexión, tradicionalmente considerados como largueros, vigas o vigas maestras.

2.5.2.7.2 Subestructura

Si se anticipa un futuro ensanchamiento, se debería considerar diseñar la subestructura para la condición ensanchada.

2.5.3 Construibilidad

C2.5.3

Los puentes se deberían diseñar de manera tal que su fabricación y erección se puedan realizar sin dificultades ni esfuerzos indebidos y que las tensiones residuales incorporadas durante la construcción estén dentro de límites

Un ejemplo de una secuencia constructiva particular sería el caso en el cual el Diseñador requiere que una viga de acero sea soportada mientras se cuela el hormigón del tablero para que la viga y el tablero actúen de forma

tolerables.

Si el Diseñador ha supuesto una secuencia constructiva particular a fin de inducir ciertas tensiones bajo carga permanente, dicha secuencia debe estar definida en la documentación técnica.

Si hay restricciones al método constructivo, o si es probable que consideraciones ambientales u otras causas impongan restricciones al método constructivo, la documentación técnica deberá llamar la atención a dichas restricciones.

Si la complejidad del puente es tal que no sería razonable esperar que un contratista experimentado pronostique y estime un método constructivo adecuado al preparar la oferta económica para la licitación del proyecto, la documentación técnica debe indicar al menos un método constructivo factible.

Si el diseño requiere algún incremento de resistencia y/o arriostramiento o soportes temporarios, esta necesidad debe estar indicada en la documentación técnica.

Se deben evitar detalles que requieran soldadura en áreas restringidas o colocación de hormigón a través de zonas con congestión de armaduras.

Se deben considerar las condiciones climáticas e hidráulicas que pudieran afectar la construcción del puente.

compuesta tanto para la carga permanente como para la sobrecarga.

Un ejemplo de un puente complejo sería un puente atirantado para el cual existen limitaciones en cuanto a lo que puede ser transportado sobre el mismo durante su construcción, especialmente en términos de equipos constructivos. Si estas limitaciones no son evidentes para un contratista experimentado, el contratista se puede ver obligado a realizar un análisis de costos más complejo que lo necesario. Dadas las habituales restricciones de tiempo y presupuesto que existen al momento de preparar una oferta económica para una licitación, es posible que el contratista no lo halle factible.

Este artículo no requiere que el Diseñador eduque al contratista acerca de cómo construir un puente: se asume que el contratista tendrá la experiencia y capacitación necesarias. Tampoco pretende impedir que un contratista utilice innovaciones para lograr una ventaja sobre sus competidores.

A igualdad de los demás factores, generalmente se prefieren los diseños autoportantes o que utilizan sistemas de encofrado o estructuras provisionales normalizadas antes que aquellos que requieren sistemas de encofrado únicos o complejos.

Las estructuras provisionales dentro de la zona libre deberían estar adecuadamente protegidas contra el tráfico.

2.5.4 Economía

2.5.4.1 Requisitos Generales

Los tipos estructurales, longitudes de tramo y materiales se deben seleccionar considerando debidamente el costo proyectado. Se debe considerar el costo de gastos futuros durante la vida de servicio proyectada para el puente. También se deben considerar factores regionales tales como las restricciones relacionadas con la disponibilidad de materiales, fabricación, ubicación, transporte y erección.

2.5.4.2 Planos Alternativos

Si los estudios económicos no permiten determinar una elección clara, el Propietario puede requerir la preparación y

C2.5.4.1

Si hay información disponible sobre las tendencias de la fluctuación de los costos de mano de obra y materiales, se deberían proyectar los efectos de estas tendencias al momento en el cual se anticipa la construcción del puente.

La comparación de los costos de las diferentes alternativas estructurales se debería basar en consideraciones a largo plazo, incluyendo costos de inspección, mantenimiento, reparación y/o reemplazo. La alternativa de menor costo inicial no necesariamente coincide con la de menor costo total.

cotización de documentación técnica alternativa. Los planos de diseño alternativos deben tener el mismo valor de seguridad, serviciabilidad y estética.

Siempre que sea posible se deberían evitar los puentes móviles sobre vías navegables. Si se propone un puente móvil, las comparaciones económicas deberían incluir al menos una alternativa de puente fijo.

2.5.5 Estética del Puente

Los puentes deberían complementar sus alrededores, ser de formas elegantes y presentar un aspecto de resistencia adecuada.

Los Ingenieros deberían tratar de lograr una apariencia más agradable mejorando las formas y las relaciones entre los propios elementos estructurales. Se debería evitar la aplicación de adornos u ornamentos extraordinarios y no estructurales.

Se deberían considerar los siguientes lineamientos:

- Durante la etapa correspondiente a la selección del sitio de emplazamiento y ubicación se deberían estudiar diseños alternativos sin pilas o con pocas pilas, y estos estudios se deberían refinar durante la etapa de diseño preliminar.
- La forma de las pilas debería ser consistente con la superestructura en cuanto a su forma y detalles.
- Se deberían evitar cambios abruptos en la geometría de los elementos y el tipo estructural. Si es imposible evitar la interfase de diferentes tipos estructurales, se debería procurar una transición estéticamente suave entre un tipo y otro.
- No se deberían descuidar los detalles, tales como las bajadas del drenaje del tablero.
- Si consideraciones económicas o funcionales determinan el uso de una estructura de cruce, el sistema estructural se debería seleccionar de manera de lograr una impresión visual de amplitud y orden.

C2.5.5

Con frecuencia se puede mejorar significativamente la apariencia de un puente con un costo despreciable, introduciendo pequeños cambios en la forma o posición de los elementos estructurales. Sin embargo, los puentes importantes suelen justificar un aumento del costo para lograr una mejor apariencia, considerando que el puente probablemente formará parte del paisaje por setenta y cinco años o más.

El análisis exhaustivo de la estética de los puentes excede el alcance de estas Especificaciones. Los Ingenieros pueden consultar documentos tales como *Bridge Aesthetics Around the World* (1991), publicado por el Transportation Research Board, donde encontrarán más información sobre este tema.

Las estructuras modernas más admiradas son aquellas que para su buena apariencia confían en las formas de los propios elementos estructurales:

- La forma de los elementos responde a su función estructural. Son gruesos si las tensiones a las cuales están sometidos son elevadas, mientras que son más esbeltos si las tensiones son menores.
- La función de cada elemento y la manera en que cada elemento lleva a cabo su función son aparentes.
- Los elementos son esbeltos y están bien separados, manteniendo visuales a través de la estructura.
- El puente se visualiza como una unidad; todos los elementos son consistentes con dicha unidad y contribuyen a la misma. Por ejemplo, todos los elementos deberían pertenecer a la misma familia de formas geométricas, tal como formas con bordes redondeados.
- El puente satisface su función con un mínimo de material y una cantidad mínima de elementos.
- El tamaño de cada elemento y su proporción con los demás están claramente relacionados con el concepto estructural global y con la función que le corresponde a cada elemento, y

- Siempre que sea posible se debe evitar usar el puente como apoyo de los sistemas de señalización e iluminación.
- Los rigidizadores transversales, a excepción de aquellos ubicados en los puntos de apoyo, no deberían ser visibles en elevación.
- Para salvar barrancos profundos se deberían preferir las estructuras tipo arco.

- El puente en su globalidad tiene una relación clara y lógica con sus alrededores.

Se han propuesto diferentes procedimientos para integrar el concepto estético dentro del proceso de diseño (*Gottmoeller 1991*).

Debido a que los principales elementos estructurales de un puente son los de mayor tamaño y los que saltan a la vista en primer término, éstos determinan la apariencia del puente. Por lo tanto los Ingenieros deberían intentar lograr una excelente apariencia de los componentes de un puente según el siguiente orden de importancia:

- Alineación horizontal y vertical y ubicación en relación con el ambiente;
- Tipo de superestructura, es decir, en arco, puente de viga compuesta, etc.;
- Ubicación de las pilas;
- Ubicación y altura de los estribos;
- Geometría de la superestructura;
- Geometría de las pilas;
- Geometría de los estribos;
- Detalles de parapetos y barandas;
- Colores y texturas de las superficies; y
- Ornamentación.

El Diseñador debería determinar la probable ubicación de la mayoría de las personas que verán el puente, luego utilizar esta información como guía para juzgar la importancia de los diferentes elementos desde el punto de vista de la apariencia de la estructura.

Para analizar la estética de las estructuras se pueden usar perspectivas preparadas a partir de fotografías tomadas desde las visuales más importantes. Las maquetas también pueden resultar útiles.

Se debería revisar la estética de los detalles para verificar que concuerden con el diseño conceptual del puente.

2.6 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

2.6.1 Requisitos Generales

C2.6.1

Como parte del desarrollo del plan preliminar de un cruce sobre un curso de agua se deben llevar a cabo estudios hidrológicos e hidráulicos y evaluar diferentes ubicaciones posibles. El grado de detalle de estos estudios debe ser proporcional a la importancia y los riesgos asociados con la estructura.

Las estructuras temporarias para uso del Contratista o para acomodar el tráfico durante la construcción se deben diseñar considerando la seguridad del tráfico y de los propietarios de propiedades adyacentes, así como la minimización del impacto sobre los recursos naturales de la zona de inundación. El Propietario puede permitir requisitos de diseño modificados consistentes con el período de servicio previsto para la estructura temporaria y con los riesgos de inundación generados por la misma. La documentación técnica de las estructuras temporarias debe delinear las respectivas responsabilidades y riesgos que asumirán la autoridad vial competente y el Contratista.

Durante la evaluación de las alternativas de diseño para un puente se deben considerar la estabilidad del curso de agua, remanso, distribución de caudales, velocidades de flujo, potencial de socavación, riesgo de inundación, dinámica de las mareas (si corresponde) y consistencia con los criterios establecidos para el Programa Nacional de Seguro contra las Inundaciones.

Los requisitos de este Artículo incorporan prácticas y procedimientos mejorados para el diseño hidráulico de los puentes. La publicación *Model Drainage Manual* de AASHTO contiene lineamientos detallados para la aplicación de estas prácticas y procedimientos. Este documento contiene lineamientos y referencias sobre procedimientos de diseño y software para diseño hidrológico e hidráulico. También incorpora lineamientos y referencias de la publicación de *Drainage Guidelines* de AASHTO, documento compañero del *Model Drainage Manual*.

Se puede obtener información sobre el Programa Nacional de Seguro contra las Inundaciones en la USC 42 4001-4128, la Ley de Seguro Nacional contra las Inundaciones (ver también CFR 44 59 a 77) y la CFR 23 650, Subparte A, *Location and Hydraulic Design of Encroachment on Floodplains*.

Los estudios hidrológicos, hidráulicos, de socavación y estabilidad del curso de agua se ocupan de predecir los caudales de inundación y sus frecuencias, y de los complejos fenómenos físicos que involucran las acciones e interacciones del agua y el suelo durante la ocurrencia de los caudales de inundación previstos. Estos estudios deberían ser realizados por un Ingeniero con los conocimientos y experiencia necesarios para adoptar juicios prácticos respecto del alcance de los estudios a realizar y el significado de los resultados obtenidos. Para el diseño de las fundaciones de un puente la mejor opción es un equipo interdisciplinario formado por ingenieros estructurales, hidráulicos y geotécnicos.

El documento *Model Drainage Manual* de AASHTO también contiene lineamientos y referencias sobre:

- Métodos de diseño para evaluar la precisión de los estudios hidráulicos, incluyendo los elementos de un plan de recolección de datos;
- Una guía para estimar los picos y volúmenes del caudal de inundación, incluyendo requisitos para el diseño de carreteras interestatales según CFR 23 650, Subparte A, "Encroachments";
- Procedimientos o referencias para el análisis de cursos de agua sujetos a la influencia de las mareas, cursos de agua regulados y cuencas colectoras urbanas;
- Evaluación de la estabilidad de cursos de agua;
- Uso de procedimientos de diseño y software recomendados para cuantificar cursos de agua sobre los cuales se ha de construir un puente;

- Ubicación y diseño de puentes para resistir daños provocados por la socavación y cargas hidráulicas creadas por el flujo de agua, hielo y detritos;
- Cálculo de la magnitud de la socavación por contracción, socavación localizada y medidas para contrarrestarlas;
- Diseño de puentes de alivio, desbordamientos de carreteras, espigones y otras obras de corrección de cauces; y
- Procedimientos para el diseño hidráulico de alcantarillas del tamaño de un puente.

2.6.2 Datos del sitio de emplazamiento

El plan de recolección de datos específicos del sitio de emplazamiento debe considerar:

- Recolección de datos de relevamientos aéreos y/o terrestres del cauce principal y su zona de inundación, en una distancia adecuada aguas arriba y aguas abajo del puente;
- Estimación de los elementos de rugosidad para el curso de agua y la zona de inundación dentro del tramo investigado;
- Muestreo de material del lecho hasta una profundidad suficiente para determinar las características necesarias para el análisis de la socavación;
- Perforaciones subsuperficiales;
- Factores que afectan los niveles del agua, incluyendo las aguas altas, reservorios, cuencas de retención, mareas y estructuras para el control de inundaciones y procedimientos de operación;
- Estudios e informes existentes, incluyendo aquellos realizados de acuerdo con los requisitos del Programa Nacional de Seguro contra las Inundaciones u otros programas de control de las inundaciones;
- Antecedentes históricos disponibles sobre el comportamiento del curso de agua y la estructura durante inundaciones pasadas, incluyendo la socavación observada, erosión de los taludes y daños estructurales provocados por los flujos de detritos o hielo; y

C2.6.2

La evaluación hidráulica necesariamente involucra numerosas hipótesis. Entre las hipótesis más importantes se encuentran los coeficientes de rugosidad y la proyección de las magnitudes de los caudales a largo plazo, por ejemplo, la inundación de quinientos años u otras superinundaciones. Es dable esperar que la escorrentía de una tormenta dada varíe con las estaciones, las condiciones meteorológicas del pasado inmediato y las condiciones superficiales naturales y artificiales a largo plazo. La capacidad de proyectar estadísticamente las inundaciones con largos períodos de recurrencia es función de la precisión de la base de datos de inundaciones pasadas, y estas proyecciones con frecuencia cambian como consecuencia de nuevas experiencias.

Los factores mencionados hacen que investigar la inundación de control para socavación sea un criterio de seguridad importante pero altamente variable, y con seguridad será difícil de reproducir, a menos que todas las hipótesis originales del Diseñador se empleen en un estudio de socavación posterior al diseño. Obviamente, estas hipótesis originales deben ser razonables en vista de los datos, condiciones y proyecciones disponibles en el momento del diseño original.

- Posibles cambios geomorfológicos en el flujo del cauce.

2.6.3 Análisis hidrológico

El Propietario debe determinar el alcance de los estudios hidrológicos en base a la clasificación funcional de la carretera, los requisitos federales y estatales aplicables y los riesgos de inundación en el sitio de emplazamiento.

En los estudios hidrológicos se deberían investigar los siguientes caudales de inundación, según corresponda:

- Para evaluar los riesgos de inundación y satisfacer los requisitos sobre manejo de zonas de inundación – la inundación de cien años;
- Para evaluar los riesgos a los usuarios de la carretera y los daños al puente y sus accesos carreteros – la inundación de desbordamiento y/o la inundación de diseño para socavación del puente;
- Para evaluar los daños provocados por una inundación catastrófica en ubicaciones de alto riesgo – una inundación de control de una magnitud seleccionada por el Propietario, según corresponda a las condiciones del sitio de emplazamiento y el riesgo percibido;
- Para investigar si las fundaciones del puente son adecuadas para resistir la socavación – la inundación de control para socavación del puente;
- Para satisfacer las políticas y criterios de diseño de las autoridades competentes – la inundación de diseño para abertura para un curso de agua y la inundación de diseño para socavación del puente para los diferentes tipos funcionales de carreteras;
- Para calibrar los perfiles de la superficie del agua y para evaluar el comportamiento de estructuras existentes – inundaciones históricas; y
- Para evaluar las condiciones ambientales – información sobre caudal de estiaje o de base y, en cruces estuarinos, el rango de marea sicigial y la amplitud de marea.

Para las estructuras que salvan recursos marítimos o estuarinos se debería especificar un estudio del efecto de la elevación del nivel del mar sobre las amplitudes de marea.

C2.6.3

El período de recurrencia de los caudales de marea se deberían correlacionar con las alturas de agua correspondientes a mareas de huracán o tormenta, de acuerdo con los estudios realizados por FEMA u otras agencias.

Se debería prestar particular atención a la selección del diseño y la verificación de los caudales de inundación para las inundaciones de población mixta. Por ejemplo, un caudal estuarino puede estar formado tanto por flujo de marea como por escorrentía de la cuenca colectora aguas arriba.

Si los caudales de población mixta dependen de la ocurrencia de eventos meteorológicos extraordinarios, tales como un huracán, la sincronización relativa de los eventos de caudal pico individuales debe ser evaluada y considerada para seleccionar la descarga de diseño. Es probable que ésta sea la situación en el caso de los caudales estuarinos.

Si los eventos tienden a ser independientes, como podría ser el caso de inundaciones en una región montañosa provocadas por la escorrentía de la lluvia o el derretimiento de la nieve, el Diseñador debería evaluar ambos eventos independientemente y luego considerar la probabilidad de su ocurrencia simultánea.

2.6.4 Análisis hidráulico

2.6.4.1 Requisitos Generales

El Ingeniero debe utilizar modelos analíticos y técnicas aprobadas por el Propietario y consistentes con el nivel de análisis requerido.

2.6.4.2 Estabilidad del Curso de Agua

Se deben realizar estudios para evaluar la estabilidad del curso de agua y estudiar el impacto de la construcción sobre el mismo. Se deberán considerar los siguientes elementos:

- Si el tramo del curso de agua estudiado se está degradando, agradando o está en equilibrio;
- Para cruces de cursos de agua próximos a una confluencia, el efecto del curso de agua principal y el tributario sobre las alturas de inundación, velocidades, distribución de flujos, movimientos verticales y laterales del curso de agua, y el efecto de las condiciones mencionadas sobre el diseño hidráulico del puente;
- Ubicación de un cruce favorable sobre el curso de agua, tomando en cuenta si éste es recto, meandroso, trenzado o de transición, o dispositivos de control para proteger al puente contra condiciones del curso de agua existentes o anticipadas para el futuro;
- Efecto de cualquier cambio propuesto en el cauce;
- Efecto de la explotación de agregados u otras operaciones realizadas en el cauce;
- Cambios potenciales en las tasas o volúmenes de escorrentía provocados por cambios del uso del suelo;
- Efecto de los cambios geomorfológicos del curso de agua sobre la estructura propuesta; y
- Efecto de los cambios geomorfológicos sobre las estructuras próximas a la estructura propuesta o que forman parte de la misma.

En el caso de cursos de agua o condiciones de flujo inestables se deben realizar estudios especiales para evaluar los probables cambios futuros de la planimetría y la altimetría del curso de agua y para determinar las contramedidas a incorporar en el diseño, o en el futuro, para la seguridad del puente y las carreteras de acceso.

2.6.4.3 Curso de Agua debajo del Puente

El proceso de diseño para dimensionar el curso de agua debajo del puente debe incluir:

- Evaluación de los patrones del caudal de inundación en el cauce principal y la zona de inundación para las condiciones existentes; y
- Evaluación de combinaciones de prueba que incluyan diferentes planimetrías y altimetrías de la carretera y longitudes de puente para verificar su consistencia con los objetivos de diseño.

Si se han de utilizar estudios de inundaciones existentes, será necesario determinar su grado de precisión.

2.6.4.4 Fundaciones del Puente

2.6.4.4.1 Requisitos generales

Los aspectos estructurales, hidráulicos y geotécnicos del diseño de las fundaciones deben estar coordinados y cualquier diferencia resuelta antes de la aprobación de los planos preliminares.

C2.6.4.3

Las combinaciones de prueba deberían tomar en cuenta lo siguiente:

- Aumento de las cotas de inundación provocado por el puente,
- Cambios de los patrones de flujo y velocidades de inundación en el cauce y en la zona de inundación,
- Ubicación de controles hidráulicos que afectan el flujo a través de la estructura o la estabilidad del curso de agua a largo plazo,
- Luces libres entre los niveles de inundación y las secciones bajas de la superestructura para permitir el paso de hielo y detritos,
- Necesidad de proteger las fundaciones del puente y el lecho y los taludes del curso de agua, y
- Evaluación de los costos de capital y riesgos de inundación asociados con las diferentes alternativas mediante procedimientos de evaluación o análisis de riesgos.

C2.6.4.4.1

Para reducir la vulnerabilidad del puente frente a los daños provocados por la socavación y las cargas hidráulicas se deberían considerar los siguientes conceptos generales de diseño:

- Fijar las cotas de los tableros tan alto como resulte práctico para las condiciones del sitio dado a fin de minimizar su inundación por las crecidas. Si un puente está sujeto a inundación, considerar el desbordamiento de las secciones de carretera de acceso y optar por estructuras aerodinámicas para minimizar el área sujeta a las cargas hidráulicas y acumulación de hielo, detrito y arrastres.
- Emplear puentes de alivio, espigones, presas y otras obras para corrección del cauce a fin de reducir la turbulencia y las fuerzas hidráulicas que actúan en los estribos del puente.
- Utilizar diseños con tramos continuos. Anclar las superestructuras a sus subestructuras cuando éstas estén sujetas a los efectos de cargas hidráulicas,

flotabilidad, hielo o impacto de detritos o acumulación de arrastres. Proveer venteo y drenaje para la superestructura.

- Cuando resulte practicable, limitar el número de pilas dentro del cauce, optar por pilas de forma aerodinámica y alinear las pilas con la dirección de los caudales de inundación. Evitar los tipos de pilas que favorecen la acumulación de hielo y arrastres. Ubicar las pilas fuera de la proximidad inmediata de las márgenes de los cursos de agua.
- Ubicar los estribos lejos de los taludes del cauce si se prevé que habrá importantes problemas de acumulación de hielo y/o detritos, socavación y estabilidad del cauce, o cuando se deban satisfacer requisitos ambientales o legales especiales, por ejemplo, cruces sobre tierras pantanosas.
- Diseñar las pilas en zonas de inundación como pilas fluviales. Ubicar sus fundaciones a una profundidad apropiada si es probable que el cauce cambie de ubicación durante la vida de la estructura o si es probable que se produzcan cortas.
- Siempre que sea posible, usar rejillas de desbaste o barreras para hielo para detener los arrastres y el hielo antes que lleguen al puente. Si es inevitable que haya acumulaciones significativas de arrastres o hielo, sus efectos se deben tomar en cuenta al determinar las profundidades de socavación y las cargas hidráulicas.

2.6.4.4.2 Socavación de Puentes

Según lo requerido por el Artículo 3.7.5, se debe investigar la socavación de las fundaciones de los puentes para dos condiciones:

- Para la inundación de diseño para socavación se debe asumir que el material del lecho dentro del prisma de socavación encima de la línea de socavación total ha sido retirado para las condiciones de diseño. La inundación de diseño debe ser la marea de tormenta, marea o inundación mixta más severa del período de recurrencia de 100 años o una inundación de desbordamiento de menor período de recurrencia si ésta resulta más severa.
- Para la inundación de control para socavación, se debe investigar la estabilidad de las fundaciones del puente para las condiciones provocadas por una determinada marea de tormenta, marea o inundación de población mixta no mayor que el evento de 500

C2.6.4.4.2

Tanto en Estados Unidos como en el resto del mundo, la mayoría de las fallas de puentes se produjeron como resultado de la socavación.

El costo adicional de hacer que un puente sea menos vulnerable a los daños provocados por la socavación es pequeño en comparación con el costo total que origina la falla de un puente.

La inundación de diseño para socavación se debe determinar en base al juicio profesional del Ingeniero acerca de las condiciones hidrológicas y de flujo hidráulico en el sitio. El procedimiento recomendado consiste en evaluar la socavación provocada por los caudales de inundación especificados y diseñar las fundaciones para el evento que se anticipa provocará la mayor profundidad total de socavación.

El procedimiento recomendado para determinar la profundidad total de socavación en las fundaciones de un puente es el siguiente:

años o por una inundación de desbordamiento de menor período de recurrencia. Bajo esta condición no es necesario una reserva superior a la requerida por motivos de estabilidad. Se aplicará el estado límite de evento extremo.

Si las condiciones del sitio, debidas el atascamiento de arrastres o hielo, y las condiciones de bajo nivel de descarga cerca de confluencias de cursos de agua determinan que es necesario usar una inundación más severa como inundación de diseño o inundación de control para socavación, el Ingeniero puede usar tal evento.

Las zapatas ensanchadas fundadas sobre suelo o roca erosionable se deben ubicar de manera que el fondo de la zapata esté por debajo de las profundidades de socavación determinadas para la inundación de control para socavación. Las zapatas ensanchadas fundadas sobre roca resistente a la socavación se deben diseñar y construir de manera de mantener la integridad de la roca portante.

Cuando resulte practicable, las fundaciones profundas con zapatas se deben diseñar de manera de ubicar la parte superior de la zapata debajo de la profundidad de socavación por contracción estimada a fin de minimizar la obstrucción de los caudales de inundación y la socavación localizada resultante. Se deberían considerar cotas aún menores para el caso de zapatas apoyadas sobre pilotes si los pilotes pudieran ser dañados por la erosión y corrosión provocadas por la exposición a las corrientes de agua. Si las condiciones determinan la necesidad de construir la parte superior de una zapata a una cota por encima del lecho del curso de agua, se debe prestar atención al potencial de socavación del diseño.

Si se utilizan espolones u otros sistemas de protección de pilas, el diseño debe considerar su influencia sobre la socavación de las pilas y la acumulación de arrastres.

- Estimar la agradación o degradación del perfil del cauce a largo plazo para la vida de servicio del puente;
- Estimar los cambios de la planimetría del cauce a largo plazo para la vida de servicio del puente;
- A modo de verificación del diseño, ajustar la geometría del cauce existente y las zonas de inundación aguas arriba y aguas abajo del puente según sea necesario para reflejar los cambios que se anticipan para el perfil del cauce y la planimetría del mismo;
- Determinar la combinación de condiciones existentes o probables e inundaciones futuras que podrían determinar la socavación más profunda para las condiciones de diseño;
- Determinar perfiles de la superficie del agua correspondientes a un tramo que se extienda aguas arriba y aguas abajo del emplazamiento del puente para las diferentes combinaciones de condiciones e inundaciones consideradas;
- Determinar la magnitud de la socavación por contracción y la socavación localizada en pilas y estribos; y
- Evaluar los resultados del análisis de socavación, tomando en cuenta las variables de los métodos utilizados, la información disponible sobre el comportamiento del curso de agua y el comportamiento de estructuras existentes durante inundaciones pasadas. Considerar también los patrones de flujo actuales y anticipados en el cauce y su zona de inundación. Visualizar la influencia del puente sobre estos patrones de flujo y la influencia del flujo sobre el puente. Modificar el diseño del puente cuando resulte necesario para satisfacer preocupaciones generadas por el análisis de socavación y la evaluación de la planimetría del cauce.

El diseño de las fundaciones se debería basar en las profundidades totales de socavación estimadas siguiendo el procedimiento descrito, tomando en cuenta factores de seguridad geotécnica adecuados. Si resultan necesarias, las modificaciones del puente pueden incluir:

- Reubicar o rediseñar las pilas o estribos para evitar zonas de socavación profunda o la superposición de las socavaciones provocadas por elementos de

fundación adyacentes,

- Agregar espigones, presas u otros elementos para corrección del cauce a fin de permitir transiciones de flujo más suaves o para controlar el movimiento lateral del cauce,
- Agrandar el área del curso de agua, o
- Reubicar el cruce para evitar ubicaciones indeseables.

Las fundaciones se deberían diseñar para soportar las condiciones de socavación correspondientes a la inundación de diseño y la inundación de control. En general, esto dará como resultado fundaciones profundas. El diseño de las fundaciones de puentes existentes en proceso de rehabilitación debería considerar la submuración si la socavación determina que esto es necesario. Si una submuración no resulta eficiente desde el punto de vista de los costos se puede usar rip-rap u otras medidas para contrarrestar la socavación.

La tecnología disponible no está lo suficientemente desarrollada como para permitir una estimación confiable de la socavación bajo ciertas condiciones, tales como estribos de puentes ubicados en zonas de turbulencia provocadas por flujos convergentes o divergentes.

Se debe investigar exhaustivamente la estabilidad de los estribos en zonas de flujo turbulento. Los taludes expuestos se deberían proteger adecuadamente mediante medidas para contrarrestar la socavación.

2.6.4.5 Accesos Carreteros

El diseño del puente se debe coordinar con el diseño de los accesos carreteros en la zona de inundación, de manera que el patrón de flujo de inundación se desarrolle y analice como una entidad única interrelacionada. Si los accesos carreteros en la zona de inundación obstruyen el flujo del cauce mayor, el segmento de carretera dentro de los límites de la zona de inundación se deberá diseñar de manera de minimizar los riesgos de inundación.

Si hay derivación de aguas hacia otra cuenca colectora como resultado de remansos y obstrucción de los caudales de inundación, se deberá estudiar el diseño para asegurar que satisfaga los requisitos legales referidos a riesgos de inundación en la otra cuenca colectora.

C2.6.4.5

Los terraplenes de carreteras construidas en zonas de inundación redirigen el flujo del cauce mayor, provocando que fluya en dirección general paralela al terraplén y regrese al cauce principal al llegar al puente. En estos casos, el diseño de las carreteras deberá incluir, donde corresponda, contramedidas para limitar el daño de los terraplenes de la carretera y los estribos del puente. Estas contramedidas pueden incluir:

- Puentes de alivio,
- Retrasar la velocidad del flujo del cauce mayor promoviendo el crecimiento de árboles y arbustos en la zona de inundación y el terraplén dentro de la zona expropiada para la carretera o construir pequeñas presas a lo largo del terraplén de la carretera,
- Proteger las pendientes del terraplén expuestas a velocidades erosivas colocando rip-rap u otros materiales de protección contra la erosión sobre el terraplén y estribos que permitan rebose, y
- Usar espigones cuando el caudal del cauce mayor es importante, a fin de proteger los estribos ubicados en

el cauce principal y los puentes de alivio contra la turbulencia y socavación resultantes.

Aunque un desbordamiento puede provocar la falla del talud, se prefiere esta consecuencia antes que la falla del puente. El punto más bajo de la sección de desbordamiento no debería estar inmediatamente adyacente al puente, ya que una falla en esta ubicación podría dañar el estribo del puente. Si debido a limitaciones geométricas el punto más bajo de la sección de desbordamiento se debe ubicar cerca del estribo, el efecto socavante del flujo de desbordamiento se debería considerar en el diseño del estribo. Los estudios de diseño para desbordamiento también deberían incluir una evaluación de cualquier riesgo de inundación generado por cambios de los patrones de flujo existentes o por concentraciones de flujo en la proximidad de propiedades mejoradas o construidas.

2.6.5 Ubicación y Longitud de las Alcantarillas, Área del Curso de Agua

Además de los requisitos de los Artículos 2.6.3 y 2.6.4, se deben considerar las siguientes condiciones:

- Pasaje de peces y demás vida silvestre,
- Efecto de las altas velocidades de salida y concentraciones de flujo en la salida de las alcantarillas, el canal aguas abajo y las propiedades adyacentes,
- Efectos de la subpresión en las entradas de las alcantarillas,
- Seguridad del tráfico, y
- Efectos de los niveles de descarga elevados que pudieran ser provocados por controles aguas abajo o mareas de tormenta.

2.6.6 Drenaje de la carretera

2.6.6.1 Requisitos Generales

El tablero de un puente y sus accesos carreteros se deben diseñar para permitir el paso seguro y eficiente de la escorrentía superficial de la calzada, de manera de minimizar los daños al puente y maximizar la seguridad de los vehículos que lo cruzan. Se debe proveer drenaje transversal para el tablero, incluyendo la carretera, ciclovías y pasarelas peatonales, disponiendo una pendiente transversal o peralte suficiente para permitir un drenaje positivo. En el caso de puentes anchos con más de

C2.6.5

En general la discusión de las investigaciones in situ y los análisis hidrológicos e hidráulicos necesarios para puentes también es aplicable a las grandes alcantarillas clasificadas como puentes.

El uso de rejas de seguridad en los extremos de las alcantarillas para proteger los vehículos que se salen de la carretera no es recomendable en el caso de las alcantarillas de grandes dimensiones, incluyendo aquellas clasificadas como puentes, debido a que existe la posibilidad de que se obturen y provoquen un aumento inesperado del riesgo de inundación en la carretera y las propiedades adyacentes. Los métodos preferidos para lograr la seguridad del tráfico incluyen la instalación de barreras o la prolongación de los extremos de las alcantarillas para aumentar la zona de recuperación de vehículos.

C2.6.6.1

Siempre que sea posible, los tableros de puentes deberían ser impermeables al agua y todo el drenaje del tablero se debería llevar hasta los extremos del puente.

Los puentes deberían mantener un gradiente longitudinal. Se deberían evitar los gradientes nulos y las curvas verticales cóncavas. Se debería coordinar el diseño de los sistemas de drenaje del tablero del puente y de los accesos carreteros.

Bajo ciertas condiciones puede ser deseable usar

tres carriles de circulación en cada dirección, puede ser necesario realizar un diseño especial para el drenaje del tablero y/o emplear superficies rugosas a fin de reducir el potencial de hidroplaneamiento. El agua que fluye por gravedad en la correspondiente sección de cuneta deberá ser interceptada y no se deberá permitir que escurra sobre el puente. Los drenes en los extremos de los puentes deben tener capacidad suficiente para conducir toda la escorrentía contribuyente.

En aquellas instancias únicas, sensibles desde el punto de vista ambiental, en las cuales no es posible descargar hacia el curso de agua inferior, se deberá considerar la posibilidad de conducir el agua mediante un desagüe pluvial longitudinal fijado a la parte inferior del puente y que descargue hacia instalaciones adecuadas sobre suelo natural en el extremo del puente.

2.6.6.2 Tormenta de Diseño

A menos que el Propietario especifique lo contrario, la tormenta de diseño para el drenaje del tablero de un puente no debe ser menor que la tormenta usada para diseñar el sistema de drenaje del pavimento de la carretera adyacente.

2.6.6.3 Tipo, Tamaño y Número de Drenes

El número de drenes del tablero debería ser el mínimo consistente con los requisitos hidráulicos.

En ausencia de otros lineamientos aplicables, para puentes en los cuales la velocidad de diseño de la carretera es menor que 75 km/h, el tamaño y número de drenes del tablero deberían ser tales que el agua de los drenes no invada más de la mitad del ancho de ninguno de los carriles transitables. Para puentes en los cuales la velocidad de diseño de la carretera es mayor o igual que 75 km/h, el agua de los drenes no debería invadir ninguna parte de los carriles transitables. El flujo de las cunetas se debería interceptar en los puntos de transición de la pendiente transversal para impedir que dicho flujo atraviese el tablero del puente.

Los imbornales o entradas de los drenes del tablero deben ser hidráulicamente eficientes y accesibles para su limpieza.

2.6.6.4 Descarga de los Drenes del Tablero

Los drenes del tablero se deben diseñar y ubicar de manera que el agua superficial del tablero del puente o superficie carretera se dirija alejándose de los elementos de la superestructura y subestructura del puente.

barandas abiertas para permitir la descarga de la escorrentía superficial del tablero.

El capítulo correspondiente a "Drenaje Pluvial" del *Model Drainage Manual* de AASHTO contiene valores recomendados para las pendientes transversales.

C2.6.6.3

Para obtener más información o criterios de diseño para el drenaje de tableros de puentes, ver el capítulo correspondiente a "Drenaje Pluvial" del *Model Drainage Manual* de AASHTO, *Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, y el Informe de Investigación RD-87-014 de AASHTO/FHWA, *Bridge Deck Drainage Guidelines*.

Normalmente la mínima dimensión interior de una bajada pluvial no debería ser menor que 150 mm, pero si se anticipa acumulación de hielo sobre el tablero del puente esta dimensión mínima no debería ser menor que 200 mm.

C2.6.6.4

Se debería considerar el efecto de los sistemas de drenaje sobre la estética del puente.

Si el Propietario no tiene ningún requisito específico para controlar el efluente de los drenes y tuberías, se debería considerar:

- Una proyección mínima de 100 mm por debajo del elemento de la superestructura adyacente de menor cota,
- Ubicar las salidas de las tuberías de manera que un cono de salpicadura de 45 grados no llegue a los elementos estructurales,
- Usar drenes libres o canales de drenaje en los parapetos siempre que sea posible y esté permitido,
- Usar codos de no más de 45 grados, y
- Disponer bocas de limpieza.

La escorrentía del tablero del puentes y los drenes del tablero se debe disponer de manera consistente con los requisitos ambientales y de seguridad

2.6.6.5 Drenaje de las Estructuras

Las cavidades de las estructuras en las cuales existe la posibilidad que quede agua atrapada se deberán drenar por su punto más bajo. Los tableros y superficies de rodamiento se deberán diseñar para impedir el endicamiento de agua, especialmente en las juntas del tablero. Para tableros de puentes con superficies de rodamiento no integrales o encofrados perdidos, se deberá considerar la evacuación del agua que se acumula en las interfases.

En puentes en los cuales no es factible utilizar drenes libres, se debería prestar atención al diseño del sistema de tuberías de salida para:

- Minimizar obstrucciones y otros problemas de mantenimiento, y
- Minimizar los efectos adversos de las tuberías sobre la simetría y estética del puente.

Se deberían evitar los drenes libres en aquellos casos en los cuales la escorrentía genera problemas en los carriles para tránsito vehicular o ferroviario. Para impedir la erosión, debajo de los drenes libres se debería colocar rip-rap o pavimento.

C2.6.6.5

Para permitir la salida del agua se pueden usar mechinales en los tableros de hormigón y orificios de drenaje en los encofrados perdidos.

REFERENCIAS

- AASHTO. 1991. *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- AASHTO. 1991. *Model Drainage Manual*. American Association of State Highway and Transportation Officials Washington, DC, pp. 1368.
- AASHTO. 1996. *Roadside Design Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- AASHTO/FHWA. 1987. "Bridge Deck Drainage Guidelines." *Informe de Investigación RD-87-014*. American Association of State Highway and Transportation Officials/Federal Highway Administration, Washington, DC.
- AREMA. 2003. *Manual for Railway Engineering*. American Railway Engineers Association, Washington, DC.
- ASCE. 1958. "Deflection Limitations of Bridges. Progress Report of the Committee on Deflection Limitations of Bridges of the Structural Division." *Journal of the Structural Division*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 84, No. ST 3, Mayo 1958.
- FHWA. 1991. "Evaluating Scour at Bridges." *FHWA-IP-90-017. Hydraulic Engineering Circular 18*. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, DC.
- FHWA. 1991. "Stream Stability at Highway Structures." *FHWA-IP-90-014. Hydraulic Engineering Circular 20*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Gottemoeller, F. 1991. "Aesthetics and Engineers: Providing for Aesthetic Quality in Bridge Design." *Bridge Aesthetics Around the World*. TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 80-88.
- Highway Engineering Division. 1991. *Ontario Highway Bridge Design Code*. Highway Engineering Division, Ministry of Transportation and Communications, Toronto, Canada.
- "Location and Hydraulic Design of Encroachment on Floodplains." Código de Reglamentaciones Federales. 23 CFR 650, Subparte A.
- National Flood Insurance Act. U.S. Code*, Título 42, Secciones 4001-28.
- NRC. 1991. *Bridge Aesthetics Around the World*. TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Ritter, M.A. 1990. "Timber Bridges, Design, Construction, Inspection and Maintenance." *EM7700-B. Forest Service*, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Wright, R.N. y W.H. Walker. 1971. "Criteria for the Deflection of Steel Bridges." *Boletín AISI No. 19*, Noviembre 1971, Washington, DC.