

SECCIÓN 1 (SI) - INTRODUCCIÓN

CONTENIDO

1.1	CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES	1-1
1.2	DEFINICIONES	1-2
1.3	FILOSOFÍA DE DISEÑO.....	1-3
1.3.1	Requisitos Generales.....	1-3
1.3.2	Estados Límites	1-3
1.3.2.1	Requisitos Generales	1-3
1.3.2.2	Estado Límite de Servicio	1-4
1.3.2.3	Estado Límite de Fatiga y Fractura	1-5
1.3.2.4	Estado Límite de Resistencia	1-5
1.3.2.5	Estados Límites Correspondientes a Eventos Extremos	1-5
1.3.3	Ductilidad.....	1-5
1.3.4	Redundancia.....	1-6
1.3.5	Importancia Operativa.....	1-7

SECCIÓN 1 (SI)

INTRODUCCIÓN

1.1 CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES

La intención de los requisitos de estas Especificaciones es que sean aplicados al diseño, evaluación y rehabilitación de puentes carreteros tanto fijos como móviles. Sin embargo, los aspectos mecánicos, eléctricos y aspectos especiales relacionados con la seguridad de los vehículos y peatones no están cubiertos. No se incluyen requisitos para puentes exclusivamente ferroviarios ni para puentes usados exclusivamente para el tendido de servicios públicos. Los requisitos de estas Especificaciones se pueden aplicar a los puentes que no están no totalmente cubiertos por este documento, cuidando de incluir criterios de diseño adicionales cuando sea necesario.

No es la intención de estas Especificaciones reemplazar la capacitación y el criterio profesional del Diseñador; sólo establecen requisitos mínimos necesarios para velar por la seguridad pública. El Propietario o el Diseñador pueden requerir que la sofisticación del diseño o la calidad de los materiales y la construcción sean más elevadas que lo establecido por los requisitos mínimos.

Se enfatizan los conceptos de seguridad por medio de la redundancia y ductilidad y de protección contra la socavación y las colisiones.

Los requisitos de diseño de estas Especificaciones emplean la metodología del Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Los factores fueron desarrollados a partir de la teoría de la confiabilidad en base al conocimiento estadístico actual de las cargas y el comportamiento de las estructuras.

Se incluyen métodos de análisis adicionales, diferentes a los incluidos en Especificaciones anteriores, junto con las técnicas de modelado inherentes a las mismas. Alentamos su empleo.

La intención del comentario no es proporcionar todos los antecedentes históricos posibles respecto del desarrollo de estas Especificaciones o Especificaciones anteriores, ni es su intención proveer un resumen detallado de los estudios y datos experimentales revisados al formular estos requisitos. Sin embargo, incluimos referencias a algunos de los datos experimentales para aquellos que deseen estudiar los antecedentes en profundidad.

El comentario dirige la atención del lector a otros documentos que contienen sugerencias para materializar los requisitos y la intención de estas Especificaciones. Sin embargo, dichos documentos y este comentario no forman parte de estas Especificaciones.

Las especificaciones de construcción consistentes con

C1.1

Las vigas curvas no están totalmente cubiertas por este documento; tampoco formaron parte de la base de datos de calibración.

En estas especificaciones con frecuencia se utiliza el término "ideal" para indicar una idealización de un fenómeno físico, como por ejemplo en las frases "carga ideal" o "resistencia ideal". El uso de este término enfatiza la diferencia entre la "idea" o percepción que tiene un Ingeniero sobre el mundo físico dentro del contexto del diseño que está realizando y la realidad física en sí misma.

Los términos "debe" o "deberá" denotan requisitos necesarios para satisfacer estas Especificaciones.

El término "debería" indica una fuerte preferencia por un criterio dado.

El término "puede" indica un criterio que es utilizable, pero que también es posible utilizar otros criterios locales, adecuadamente documentados, verificados y aprobados, de manera consistente con el enfoque del Método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia para puentes.

estas especificaciones de diseño se encuentran en las *Especificaciones para la Construcción de Puentes mediante el Método de Factores de Carga y Resistencia* de AASHTO. A menos que se especifique lo contrario, las Especificaciones sobre Materiales mencionadas en el presente documento se refieren a las *Especificaciones Normalizadas sobre Materiales Utilizados en Aplicaciones de Transporte y Métodos de Muestreo y Ensayo* de AASHTO.

1.2 DEFINICIONES

Colapso – Cambio significativo de la geometría del puente que hace que éste ya no sea apto para su uso.

Diseño – Dimensionamiento y detallado de los elementos y conexiones de un puente.

Ductilidad – Propiedad de un elemento o conexión que permite una respuesta inelástica.

Elemento – Elemento discreto o combinación de elementos del puente que requiere una consideración de diseño individual.

Estado Límite – Condición más allá de la cual el puente o elemento deja de satisfacer los requisitos para los cuales fue diseñado.

Estados Límites correspondientes a Eventos Extremos – Estados límites relacionados con eventos tales como sismos, cargas de hielo y colisiones de vehículos o embarcaciones, con períodos de recurrencia mayores que el período de diseño del puente.

Estados Límites de Resistencia – Estados límites relacionados con la resistencia y la estabilidad.

Estados Límites de Servicio – Estados límites relacionados con las tensiones, deformaciones y fisuración.

Estructura con Múltiples Recorridos de Cargas – Estructura capaz de soportar las cargas especificadas luego de la pérdida de un elemento o conexión portante principal.

Evaluación – Determinación de la capacidad de carga de un puente existente.

Factor de Carga – Factor que considera fundamentalmente la variabilidad de las cargas, la falta de exactitud de los análisis y la probabilidad de la ocurrencia simultánea de diferentes cargas, pero que también se relaciona con aspectos estadísticos de la resistencia a través del proceso de calibración.

Factor de Modificación de las Cargas – Factor que considera la ductilidad, redundancia e importancia operativa del puente.

Factor de Resistencia – Factor que considera fundamentalmente la variabilidad de las propiedades de los materiales, las dimensiones estructurales y la calidad de la mano de obra junto con la incertidumbre en la predicción de la resistencia, pero que también se relaciona con aspectos estadísticos de las cargas a través del proceso de calibración.

Ingeniero – Persona responsable por el diseño del puente.

Modelo – Idealización de una estructura a los fines del análisis.

Período de Diseño – Período de tiempo en el cual se basa el cálculo estadístico de las cargas transitorias. Para estas Especificaciones el período de diseño es de 75 años.

Propietario – Persona o agencia con jurisdicción sobre el puente.

Puente – Cualquier estructura que tiene una abertura de no menos de 6100 mm y que forma parte de una carretera o está ubicada sobre o debajo de una carretera.

Puente Fijo – Puente con luz vehicular o navegacional fija.

Puente Móvil – Puente con luz vehicular o navegacional variable.

Rehabilitación – Proceso mediante el cual se restablece o incrementa la resistencia del puente.

Resistencia Nominal – Resistencia de un elemento o conexión a las solicitaciones, según lo indicado por las dimensiones especificadas en la documentación técnica y por las tensiones admisibles, deformaciones o resistencias especificadas de los materiales.

Servicio Regular – Condición que excluye la presencia de vehículos que requieren permisos especiales, vientos superiores a los 90 km/h, y eventos extremos, incluida la socavación.

Solicitación – Deformación, tensión o esfuerzo resultante (es decir, fuerza axial, esfuerzo de corte, momento torsor o flector) provocado por las cargas aplicadas, deformaciones impuestas o cambios volumétricos.

Vida de Servicio – Período de tiempo durante el cual se espera que el puente esté en operación.

1.3. FILOSOFÍA DE DISEÑO

C1.3.1

1.3.1 Requisitos generales

Los puentes se deben diseñar considerando los estados límites especificados a fin de lograr los objetivos de construibilidad, seguridad y serviciabilidad, considerando debidamente los aspectos relacionados con la inspeccionabilidad, economía y estética, según lo especificado en el Artículo 2.5.

Independientemente del tipo de análisis utilizado, la Ecuación 1.3.2.1-1 se deberá satisfacer para todas las solicitaciones y combinaciones de de solicitaciones especificadas.

En muchos casos la resistencia de los elementos y conexiones se determina en base a su comportamiento inelástico, aún cuando las solicitaciones se determinan mediante análisis elásticos. Esta falta de consistencia es habitual en la mayoría de las especificaciones para puentes actuales, y se debe a la falta de un conocimiento cabal de las acciones estructurales inelásticas.

1.3.2 Estados Límites

1.3.2.1 Requisitos Generales

A menos que se especifique lo contrario, cada uno de los elementos y conexiones debe satisfacer la Ecuación 1 para cada uno de los estados límites. Para los estados límites de servicio y correspondientes a eventos extremos los factores de resistencia se deben tomar igual a 1,0 excepto para

C1.3.2.1

La Ecuación 1 constituye la base de la metodología del Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD).

La asignación del factor de resistencia $\phi = 1,0$ a todos los estados límites diferentes al de resistencia es una medida

bulones, a los cuales se aplican los requisitos del Artículo 6.5.5, y para columnas de hormigón en Zonas Sísmicas 3 y 4, a las cuales se aplican los requisitos del Artículo 5.10.11.4.1b. Todos los estados límites se deben considerar de igual importancia.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (1.3.2.1-1)$$

donde:

Para cargas para las cuales un valor máximo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \quad (1.3.2.1-2)$$

Para cargas para las cuales un valor mínimo de γ_i es apropiado:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1,0 \quad (1.3.2.1-3)$$

donde:

γ_i = factor de carga: multiplicador de base estadística que se aplica a las solicitaciones

ϕ = factor de resistencia: multiplicador de base estadística que se aplica a la resistencia nominal, según lo especificado en las Secciones 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12

η_i = factor de modificación de las cargas: factor relacionado con la ductilidad, redundancia e importancia operativa

η_D = factor relacionado con la ductilidad, según lo especificado en el Artículo 1.3.3

η_R = factor relacionado con la redundancia, según lo especificado en el Artículo 1.3.4

η_I = factor relacionado con la importancia operativa según lo especificado en el Artículo 1.3.5

Q_i = solicitación

R_n = resistencia nominal

R_r = resistencia mayorada: ϕR_n

1.3.2.2 Estado Límite de Servicio

El estado límite de servicio se debe considerar como

transitoria; actualmente se están desarrollando investigaciones sobre este tema.

La ductilidad, la redundancia y la importancia operativa son aspectos significativos que afectan el margen de seguridad de los puentes. Mientras que las dos primeras se relacionan directamente con la resistencia física, la última tiene que ver con las consecuencias que implicaría que el puente quede fuera de servicio. Por lo tanto, la agrupación de estos tres aspectos del lado de la Ecuación 1 correspondiente a las cargas es arbitrario. Sin embargo, constituye un primer esfuerzo hacia su codificación. En ausencia de información más precisa, cada efecto, a excepción de la fatiga y la fractura, se estima como ± 5 por ciento y se acumulan geoméricamente, lo cual claramente constituye un enfoque subjetivo. Con el transcurso del tiempo se logrará una mejor cuantificación de la ductilidad, redundancia e importancia operativa, su interacción, y la sinergia de los sistemas, lo cual posiblemente llevará a la modificación de la Ecuación 1 y estos efectos podrán aparecer a cualquiera de los lados de la ecuación o incluso a ambos lados. Actualmente el Proyecto NCHRP 12-36 está estudiando el tema de la redundancia.

La influencia de η sobre el índice de confiabilidad, β , se puede estimar observando su efecto sobre los mínimos valores de β calculados en una base de datos de puentes de vigas compuestas. A los fines de su discusión, los datos sobre puentes de vigas compuestas usados para calibrar estas Especificaciones se modificaron multiplicando las cargas mayoradas totales por $\eta = 0,95; 1,0; 1,05$ y $1,10$. Se determinó que los valores mínimos de β resultantes para 95 combinaciones de longitud, separación y tipo de construcción eran aproximadamente 3,0; 3,5; 3,8 y 4,0 respectivamente.

Se puede obtener una representación más aproximada del efecto de los valores de η considerando el porcentaje de datos normales aleatorios menores o iguales que el valor promedio más $\lambda\sigma$, donde λ es un multiplicador y σ es la desviación estándar de los datos. Si se toma $\lambda = 3,0; 3,5; 3,8$ y $4,0$ el porcentaje de valores menores o iguales al valor promedio más $\lambda\sigma$ sería alrededor de 99,865 por ciento; 99,997 por ciento; 99,993 por ciento y 99,997 por ciento, respectivamente.

C1.3.2.2

El estado límite de servicio proporciona ciertos

restricciones impuestas a las tensiones, deformaciones y anchos de fisura bajo condiciones de servicio regular.

1.3.2.3 Estado Límite de Fatiga y Fractura

El estado límite de fatiga se debe considerar como restricciones impuestas al rango de tensiones que se da como resultado de un único camión de diseño ocurriendo el número anticipado de ciclos del rango de tensión.

El estado límite de fractura se debe considerar como un conjunto de requisitos sobre resistencia de materiales de las Especificaciones sobre Materiales de AASHTO.

1.3.2.4 Estado Límite de Resistencia

Se debe considerar el estado límite de resistencia para garantizar que se provee resistencia y estabilidad, tanto local como global, para resistir las combinaciones de cargas estadísticamente significativas especificadas que se anticipa que el puente experimentará durante su período de diseño.

1.3.2.5 Estados Límites correspondientes a Eventos Extremos

Se debe considerar el estado límite correspondiente a eventos extremos para garantizar la supervivencia estructural de un puente durante una inundación o sismo significativo, o cuando es embestido por una embarcación, un vehículo o un flujo de hielo, posiblemente en condiciones socavadas.

1.3.3 Ductilidad

El sistema estructural de un puente se debe dimensionar y detallar de manera de asegurar el desarrollo de deformaciones inelásticas significativas y visibles en los estados límites de resistencia y correspondientes a eventos extremos antes de la falla.

Se puede asumir que los requisitos de ductilidad se satisfacen para una estructura de hormigón en la cual la resistencia de una conexión es mayor o igual que 1,3 veces la máxima sollicitación impuesta a la conexión por la acción inelástica de los elementos adyacentes.

Los dispositivos disipadores de energía se pueden aceptar como medios para proveer ductilidad.

Para el estado límite de resistencia:

$\eta_D \geq 1,05$ para elementos y conexiones no dúctiles

= 1,00 para diseños y detalles convencionales que cumplen con estas Especificaciones

requisitos basados en la experiencia que no siempre se pueden derivar exclusivamente a partir de consideraciones estadísticas o de resistencia.

C1.3.2.3

La intención del estado límite de fatiga es limitar el crecimiento de las fisuras bajo cargas repetitivas, a fin de impedir la fractura durante el período de diseño del puente.

C1.3.2.4

Bajo el estado límite de resistencia se pueden producir tensiones muy elevadas y daños estructurales, pero se espera que la integridad estructural global se mantenga.

C1.3.2.5

Se considera que los estados límites extremos son ocurrencias únicas cuyo período de recurrencia puede ser significativamente mayor que el período de diseño del puente.

C1.3.3

La respuesta de los elementos estructurales o conexiones más allá del límite elástico se puede caracterizar ya sea por un comportamiento frágil o por un comportamiento dúctil. El comportamiento frágil es indeseable debido a que implica la súbita pérdida de la capacidad de carga inmediatamente después de exceder el límite elástico. El comportamiento dúctil se caracteriza por deformaciones inelásticas significativas antes que ocurra una pérdida significativa de la capacidad de carga. El comportamiento dúctil advierte sobre la inminente ocurrencia de una falla estructural mediante grandes deformaciones inelásticas. Bajo cargas sísmicas repetitivas, se producen grandes ciclos invertidos de deformación inelástica que disipan energía y tienen un efecto beneficioso para la supervivencia de la estructura.

Si, mediante confinamiento u otras medidas, un elemento o conexión fabricado de materiales frágiles puede soportar deformaciones inelásticas sin pérdida significativa de la capacidad de carga, este elemento se puede considerar

$\geq 0,95$ para elementos y conexiones para los cuales se han especificado medidas adicionales para mejorar la ductilidad más allá de lo requerido por estas Especificaciones

Para todos los demás estados límites:

$$\eta_D = 1,00$$

dúctil. Este comportamiento dúctil se debe verificar mediante ensayos.

A fin de lograr un comportamiento dúctil adecuado el sistema debería tener un número suficiente de elementos dúctiles y ya sea:

- Uniones y conexiones que también sean dúctiles y puedan proveer disipación de energía sin pérdida de capacidad, o
- Uniones y conexiones que poseen suficiente resistencia en exceso para asegurar que la respuesta inelástica ocurrirá en las ubicaciones diseñadas para proporcionar una respuesta dúctil, de absorción de energía.

Se deben evitar las características de respuesta estáticamente dúctiles pero dinámicamente no dúctiles. Son ejemplos de este tipo de comportamiento las fallas por corte y adherencia en los elementos de hormigón y la pérdida de acción compuesta en los elementos solicitados a flexión.

La experiencia indica que los elementos típicos diseñados de acuerdo con estos requisitos generalmente exhiben una ductilidad adecuada. Es necesario prestar particular atención al detallado de las uniones y conexiones, como así también proveer múltiples recorridos para las cargas.

El Propietario puede especificar un factor de ductilidad mínimo como garantía de que se obtendrán modos de falla dúctiles. Este factor se puede definir como:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (C1.3.3-1)$$

donde:

Δ_u = deformación en estado último

Δ_y = deformación en el límite elástico

La ductilidad de los elementos o conexiones estructurales se puede establecer ya sea mediante ensayos a escala real o a gran escala o bien mediante modelos analíticos basados en el comportamiento documentado de los materiales. La ductilidad de un sistema estructural se puede determinar integrando las deformaciones locales sobre la totalidad del sistema estructural.

Los requisitos especiales aplicables a los dispositivos disipadores de energía se deben a las rigurosas demandas a las que están sometidos estos elementos.

1.3.4 Redundancia

A menos que existan motivos justificados para evitarlas,

C1.3.4

Para cada combinación de cargas y estado límite

se deben usar estructuras continuas y con múltiples recorridos de cargas.

Los principales elementos y componentes cuya falla se anticipa provocará el colapso del puente se deben diseñar como elementos de falla crítica y el sistema estructural asociado como sistema no redundante. Alternativamente, los elementos de falla crítica traccionados se pueden diseñar como de fractura crítica.

Los elementos y componentes cuya falla se anticipa no provocará el colapso del puente se deben diseñar como elementos de falla no crítica y el sistema estructural asociado como sistema redundante.

Para el estado límite de resistencia:

$\eta_R \geq 1,05$ para elementos no redundantes

= 1,00 para niveles convencionales de redundancia

$\geq 0,95$ para niveles excepcionales de redundancia

Para todos los demás estados límites:

$\eta_R = 1,00$

1.3.5 Importancia Operativa

Este artículo se debe aplicar exclusivamente a los estados límites de resistencia y correspondientes a eventos extremos.

El Propietario puede declarar que un puente o cualquier conexión o elemento del mismo es de importancia operativa.

Para el estado límite de resistencia:

$\eta_I \geq 1,05$ para puentes importantes

= 1,00 para puentes típicos

$\geq 0,95$ para puentes de relativamente poca importancia

Para todos los demás estados límites:

$\eta_I = 1,00$

considerado, la clasificación del elemento según su redundancia (redundante o no redundante) se debería basar en la contribución del elemento a la seguridad del puente. Se han propuesto diversos sistemas de medición de la redundancia (*Frangopol y Nakib, 1991*).

C1.3.5

Esta clasificación se debería basar en requisitos sociales o de supervivencia y/o requisitos de seguridad o defensa. El comentario del Artículo 3.10.3 proporciona algunos lineamientos sobre cómo seleccionar las categorías de importancia y su relación con el diseño sismorresistente. Esta información se puede generalizar para otras situaciones.

En el Artículo 3.10.3 se especifican tres niveles de importancia respecto del diseño sismorresistente: "crítico", "esencial" y "otros". A los fines de este artículo, los puentes clasificados como "críticos" o "esenciales" de acuerdo con el Artículo 3.10.3 se deberían considerar de "importancia operativa".

REFERENCIAS

AASHTO. 2003. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. 23^o Edición, American Association of Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Frangopol, D.M. y R. Nakib. 1991. "Redundancy in Highway Bridges." *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, Vol. 28, No. 1, pp. 45-50.