

# NSE 5.2

# PUENTES DE TAMAÑO Y ALTURA LIMITADOS



Normas de Seguridad  
Estructural para Guatemala

# 2018

*Actualización 15/07/2020*



---

**NORMAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL PARA  
GUATEMALA  
NSE 5.2**

**PUNTES  
DE TAMAÑO Y  
ALTURA LIMITADOS**

Edición 2018  
Actualización 15/07/2020

**Normas de Seguridad Estructural para Guatemala  
Puentes de tamaño y altura limitados  
NSE 5.2 Edición 2018**

**Derechos reservados --**

**© Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES  
Proyecto desarrollado por AGIES por medio de la Dirección de Comités Técnicos**

Este proyecto ha sido parcialmente financiado para cubrir gastos de publicación y diseminación por Trocaire y por el Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Unión Europea, el cual proporciona asistencia a las víctimas de catástrofes naturales y conflictos fuera de las fronteras de la Unión Europea. La ayuda se brinda a las víctimas de manera imparcial, directo a las personas con más necesidad con independencia de su nacionalidad, religión, sexo, origen étnico o afiliación política.

El contenido técnico y opiniones expresados en este documento no reflejan de ninguna manera tecnología en uso ni opiniones de la Unión Europea, por lo que ésta no se hace responsable de la información que contiene este documento. Tampoco las otras organizaciones mencionadas.

La redacción, actualización y discusión de la Edición 2018 de estas normas ha sido posible por los aportes ad-honorem de tiempo de los miembros de los comités técnicos de AGIES y grupos revisores.

**Nota de AGIES**

Los aportes directos de nuestros patrocinadores se utilizan para diseminación de tecnología por medio de seminarios, mesas técnicas de trabajo, conferencias, cursos cortos, publicaciones colaterales y otros medios de difusión. Los aportes para impresión y publicación se reciben frecuentemente en especie.

La redacción de los documentos, la investigación bibliográfica o de campo y actividades relacionadas con la actualización y/o generación de textos, son aportadas por los miembros de los comités técnicos en su propio tiempo disponible. Ningún directivo de AGIES y ningún miembro de comités técnicos reciben emolumentos por parte de AGIES.

**AGIES**

## **Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica**

Edificio de los Colegios Profesionales de Guatemala

Cuarto Nivel

Zona 15, Ciudad de Guatemala 0115

Guatemala

Tel. (502) 5493-0807

[www.agies.org](http://www.agies.org)

La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) es una entidad privada no lucrativa, académica, gremial formativa, científica y cultural, que promueve la investigación y divulgación de conocimientos científicos y tecnológicos en el campo de las estructuras, la sismología y áreas afines, así como el mejoramiento de los niveles docentes y profesionales en dichos campos, para el mejor y mayor uso de los recursos materiales y humanos conexos con el mismo. Es una gremial adscrita al Colegio de Ingenieros de Guatemala.

Las Normas de Seguridad Estructural (NSE) están dirigidas a personas calificadas para comprender el significado y limitaciones de su contenido y sus recomendaciones, quedando bajo la responsabilidad de estas personas el uso de los criterios aquí establecidos. La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica no asume ninguna responsabilidad, ni total, ni parcial, por el uso que se haga del contenido del presente documento y no será responsable de ningún daño, falla o pérdida derivada de la aplicación del mismo.

Los comentarios y sugerencias al presente documento deberán ser dirigidos al Comité Técnico de AGIES. Todas las personas, miembros o no de AGIES, están invitadas a colaborar con el mejoramiento del contenido de este y el resto de documentos que conforma las Normas de Seguridad Estructural.

**NSE 5.2**

**PUENTES  
DE TAMAÑO Y  
ALTURA LIMITADOS**

Edición 2018  
Actualización 15/07/2020

## RECONOCIMIENTO

---

Este documento ha sido elaborado por un comité de ingenieros bajo la supervisión de la Dirección de Comités Técnicos de AGIES.

Director de Comités Técnicos

- Dr. Héctor Monzón Despang

Comité Redactor

- Ing. Foscolo Liano
- Ing. Armando Fuentes
- Ing. David del Valle Godoy
- Ing. Estuardo Búcaro
- Ing. Francisco Mejía
- Ing. Jorge Salaverría
- Ing. Miguel Molina
- Ing. Raúl González
- Ing. Omar Flores Beltetón
- Ing. Gonzalo Arriaga
- Ing. Joram Gil
- Ing. Diego Avellán
- Ing. Ernesto Guzmán
- Ing. Pablo Rivera

Se agradece el aporte de comentarios

- Dr. Carlos Estuardo Ventura
- Dr. Héctor Monzón
- Dr. Rodolfo Semrau
- Dr. Anoosh Shamsabadi
- Ing. Emilio Beltranena
- Ing. Héctor Valdés
- Ing. Roberto Arango
- Ing. Rolando Torres
- Ing. Sergio López
- Ing. Fernando Callejas
- Ing. Raúl Alvarado Cuevas
- Ing. Miguel Cabrera

## Coordinación

- Inga. Lucia Mercedes Borja Ortiz
- Ing. Fernando Szasdi Bardales

## Créditos

- Organización y Diseño: AGIES
- Diagramación: Nydia Monroy
- Foto de portada: Ing. Fernando Szasdi Bardales

# TABLA DE CONTENIDO

---

## PRÓLOGO

## CAPÍTULO 1

### ASPECTOS GENERALES

- 1.1 — Objetivos y alcances
- 1.2 — Glosario, definiciones y simbología
  - 1.2.1 — Nomenclatura básica
- 1.3 — Normas de referencia y unidades
  - 1.3.1 — Normas de referencia
  - 1.3.2 — Unidades
- 1.4 — Tipología de puentes
  - 1.4.1 — Tipología estructural de puentes
  - 1.4.2 — Tipologías estructurales de puentes en concreto
  - 1.4.3 — Ejemplos de tipología estructural de puentes en acero

## CAPÍTULO 2

### INGENIERÍA BÁSICA

- 2.1 — Aspectos generales
- 2.2 — Estudios topográficos y georeferenciación
  - 2.2.1 — Aspectos generales
  - 2.2.2 — Referenciación de los estudios
  - 2.2.3 — Objetivos
  - 2.2.4 — Alcances
  - 2.2.5 — Base de replanteo
  - 2.2.6 — Servicios públicos afectados (cuando aplique)
  - 2.2.7 — Instrumentación
  - 2.2.8 — Documentación
  - 2.2.9 — Levantamientos
  - 2.2.10 — Perfil longitudinal de terreno
- 2.3 — Estudios de hidrología e hidráulica
  - 2.3.1 — Introducción
  - 2.3.2 — Objetivos
  - 2.3.3 — Consideraciones para el diseño
  - 2.3.4 — Requerimientos generales
  - 2.3.5 — Hidrología
  - 2.3.6 — Hidráulica
  - 2.3.7 — Lineamientos hidrológicos e hidráulicos
- 2.4 — Estudios de geología y geotécnica
  - 2.4.1 — Estudios geológicos
  - 2.4.2 — Estudios geotécnicos
- 2.5 — Estudios de impacto ambiental
  - 2.5.1 — Enfoque
  - 2.5.2 — Objetivos y alcances

- 2.5.3 — Requerimientos de los estudios
- 2.5.4 — Métodos de análisis
- 2.5.5 — Información mínima para estudios de impacto ambiental para puentes
- 2.5.6 — Documentación
- 2.6 — Estudios del trazo y diseño vial de los accesos
  - 2.6.1 — Objetivos
  - 2.6.2 — Alcances
  - 2.6.3 — Documentación
- 2.7 — Estudios de tráfico
  - 2.7.1 — Objetivo
  - 2.7.2 — Metodología
  - 2.7.3 — Documentación
- 2.8 — Estudios de señalización

## **CAPÍTULO 3**

### **PRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS**

- 3.1 — Aspectos generales
- 3.2 — Memoria descriptiva y justificación
- 3.3 — Informes y documentos
- 3.4 — Presentación del proyecto

## **CAPÍTULO 4**

### **DISPOSICIONES Y RECOMENDACIONES DE CÁLCULO**

- 4.1 — Alcances
- 4.2 — Definiciones
- 4.3 — Tipos de carga
  - 4.3.1 — Cargas y denominación de las cargas
- 4.4 — Factores de carga y combinaciones de carga
  - 4.4.1 — General
  - 4.4.2 — Fórmula general con factores de carga
  - 4.4.3 — Estados límites de carga
  - 4.4.4 — Definición de factores de carga y combinaciones
  - 4.4.5 — Factores de carga para cargas durante el proceso de construcción
  - 4.4.6 — Factores de carga para fuerzas de tensado y postensado
- 4.5 — Definición de cargas permanentes
  - 4.5.1 — Cargas permanentes: DC, DW y EV
  - 4.5.2 — Cargas de suelo: EH, ES, LS y DD
- 4.6 — Definición de cargas vivas (transitorias)
  - 4.6.1 — Sobrecarga vehicular LL
  - 4.6.2 — Aplicación de la sobrecarga vehicular de diseño
  - 4.6.3 — Carga de fatiga
  - 4.6.4 — Cargas de tránsito ferroviario
  - 4.6.5 — Cargas peatonales
  - 4.6.6 — Incremento por carga dinámica: IM
  - 4.6.7 — Fuerzas centrífugas: CE
  - 4.6.8 — Fuerza de frenado: BR

- 4.6.9 — Fuerza de colisión de un vehículo: CT
- 4.6.10 — Cargas hidráulicas: WA
- 4.6.11 — Carga de viento: WL y WS (aplicable en algunas regiones y en puentes especiales)
- 4.7 — Empuje de suelo: EH, ES, LS y DD
  - 4.7.1 — Requisitos generales
  - 4.7.2 — Compactación
  - 4.7.3 — Presencia de agua
  - 4.7.4 — Efecto sísmico
  - 4.7.5 — Empuje lateral del suelo: EH
  - 4.7.6 — Sobrecargas: ES
  - 4.7.7 — Sobrecarga viva: LS
  - 4.7.8 — Fricción negativa: DD
- 4.8 — Solicitaciones provocadas por deformaciones superpuestas: TU, TG, SH, CR, SE
  - 4.8.1 — Requisitos generales
  - 4.8.2 — Temperatura uniforme
  - 4.8.3 — Temperatura de instalación
  - 4.8.4 — Variación estacional de la temperatura
  - 4.8.5 — Gradiente de temperatura
  - 4.8.6 — Contracción diferencial
  - 4.8.7 — Fluencia lenta (creep)
  - 4.8.8 — Asentamiento
  - 4.8.9 — Fuerzas friccionantes: FR
  - 4.8.10 — Colisión de embarcaciones: CV
- 4.9 — Determinación de la carga sísmica
  - 4.9.1 — Alcances
  - 4.9.2 — Definiciones
  - 4.9.3 — Determinación de la demanda sísmica

## **CAPÍTULO 5**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## PRÓLOGO

---

La presente norma es un documento que ofrece las herramientas necesarias a las autoridades, consultores, académicos y profesionales de la ingeniería, para la regulación de los diseños de los proyectos de puentes en el país.

Este documento forma parte del compendio de normas de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica – AGIES – Normas de Seguridad Estructural – NSE – y se recomienda sea adoptado por el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda – MICIVI –, por todas las instituciones y entidades autónomas, para su aplicación en el desarrollo de todos los proyectos de puentes en cada una de sus etapas de diseño.

Este documento busca proporcionar a las autoridades responsables del desarrollo de estructuras de drenaje mayor, una herramienta para obtener los mejores resultados enfocados en el usuario final, quien es el más importante. Las recomendaciones que brindan estas normas deben usarse como información base mínima requerida, justificando convenientemente las modificaciones que sean introducidas en cada proyecto específico.

Dentro de los principales objetivos planteados para la elaboración de estas normas se citan los siguientes:

- (a) Recopilación y análisis del conjunto de normas técnicas internacionales relacionadas con el diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de puentes y vías de circulación, aplicables a las condiciones y características de la infraestructura.
- (b) Desarrollo de normas y especificaciones técnicas de los rubros más usuales e importantes en evaluación, diseño, construcción, mantenimiento, supervisión y fiscalización técnica de puentes.
- (c) Unificación de las especificaciones técnicas de uso en el país, dándole un criterio único de interpretación a la ejecución de los diversos servicios. Difusión de las especificaciones técnicas que se vayan elaborando, con consultas periódicas al conjunto de profesionales relacionados de una u otra forma al diseño, construcción y mantenimiento de puentes, tales como entidades del sector público relacionadas con la temática vial, municipalidades, universidades, empresas de construcción, empresas de consultoría, proveedores de materiales para la construcción, entre otros.

El objetivo es establecer un documento de normas, que deberá, con la oportunidad del caso ser implementado por Dirección General de Caminos – DGC- y el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, a nivel de carácter obligatorio, que sirva de guía a los profesionales, instituciones y entidades autónomas y privadas para lograr los siguientes lineamientos generales:

- (a) Cumplir con un diseño eficiente en el desarrollo de los proyectos de puentes.
- (b) Uniformizar el desarrollo de los procedimientos técnicos de rigor en los estudios necesarios para el diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de puentes.

Esta primera versión de las Normas debe ser continuamente revisada, complementada y actualizada por el Comité Técnico de Normas de Puentes de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) y de la Cámara Guatemalteca de la Construcción (CGC), quienes recopilarán y evaluarán las propuestas presentadas por los ingenieros, instituciones públicas y privadas así como grupos afines que se dedican al diseño de puentes en el país.

Este proyecto de normas ha sido elaborado y procesado tomando como base y referencia inicial normas internacionales en vigencia en varios países del mundo, y en particular de países latinoamericanos, sin embargo, el producto generado corresponde a un documento con todos sus rubros y contenido que se adecua a las necesidades y demandas del país, lográndose un documento propio y estandarizado para las condiciones de la red vial nacional existente y a ser desarrollada en el futuro inmediato.

A través de estas especificaciones se pretende desarrollar una normativa general que permita dar seguimiento y ejercer un nivel de control adecuado para la calidad de las obras, así también, para la preservación de los ecosistemas y la calidad de vida de la población.

Dentro de los documentos base para la elaboración de la presente norma se encuentran: Manual de diseño de puentes de Perú 2003; Normas para estructuras y puentes, tomo 4, volumen I, de Paraguay 2009 y Capítulo 3.1000 Puentes y estructuras afines, Chile 2007, que son documentos referentes para la presente normativa y como base fundamental las especificaciones AASHTO LRFD – 6ta Edición 2013 y sus revisiones provisionales.

### **Comité Técnico NSE 5.2**

## CAPÍTULO 1 — ASPECTOS GENERALES

---

### 1.1 — Objetivos y alcances

**1.1.1** La presente norma tiene como objetivo principal establecer los criterios, procedimientos y recomendaciones para el diseño y presentación de proyectos de puentes en Guatemala. Esta norma está orientada a facilitar la labor del proyectista en el desarrollo de proyectos con un estándar aceptable en los diseños de puentes.

**1.1.2** Si bien el objetivo de la norma es entregar un apoyo al proyectista para desarrollar el proyecto estructural de los puentes dentro de un estándar mínimo, en ningún caso este contenido reemplaza el conocimiento de los principios básicos de la ingeniería y técnicas afines, así como tampoco el adecuado criterio profesional. Por lo anteriormente expuesto, los usuarios de la presente norma, que incluye procedimientos y recomendaciones para el diseño y cálculo estructural de los puentes carreteros de Guatemala, no pueden sentirse eximidos de la responsabilidad que conlleva la interpretación de un texto a la luz del buen juicio, la experiencia y la responsabilidad profesional.

**1.1.3** Las disposiciones y recomendaciones relativas al desarrollo de los estudios de los puentes tradicionales que se incluyen en esta norma, son aplicables, en general, a la gran mayoría de los puentes y estructuras que se requieren en el país. En efecto, gran parte de los ríos que se presentan a lo largo del territorio nacional tienen cauces que pueden ser salvados con un solo tramo, o bien, cauces que pueden ser manejados en la época de verano, para salvarlos con una sucesión de tramos simplemente apoyados, construyendo las pilas que sean necesarias, no requiriéndose, por tanto, una gran variedad de tipologías de estructuras. Solo algunos de los grandes ríos de Guatemala justifican buscar soluciones estructurales más complejas, ya sea por los grandes caudales que ellos significan, o por lo profundo de los cauces por los cuales discurren.

**1.1.4** Para el diseño de puentes, independientemente de la envergadura o de la complejidad de la misma, es imprescindible la participación de ingenieros civiles especialistas (estructurales, geotécnicos, hidrólogos, etc.) quienes deberán justificar los criterios y procedimientos que se vayan a emplear para la elaboración de tales proyectos.

**1.1.5** Las disposiciones y recomendaciones que se incluyen en las presentes normas comprenden fundamentalmente los siguientes aspectos:

- (a) Aspectos de ingeniería básica
- (b) Disposiciones y recomendaciones de diseño
- (c) Forma de presentación de los estudios de puentes

**1.1.6** La presente norma da los lineamientos a seguir para el diseño de puentes en general, cualquier aspecto no contemplado en la presente norma deberá ser complementado por las Especificaciones del AASHTO LFRD 2013.

## 1.2 — Glosario, definiciones y simbología

**1.2.1 Nomenclatura Básica** — Se definen a continuación conceptos de uso habitual en los estudios de puentes:

- **Aceras** — Zona longitudinal del puente, elevada o no, reservada al tránsito de peatones.
- **Ancho del puente** — Corresponde al ancho total de la superestructura e incluye, calzadas, separadores, aceras y barandas.
- **Arriate, separador** — Franja longitudinal del puente no destinada a la circulación de vehículos que separa calzadas contiguas.
- **Borde del puente** — Es la línea definida por un plano vertical que pasa por el extremo del tablero del puente y el plano del tablero. Las progresivas menor y mayor de los bordes del puente en el eje, en el sentido del avance del kilometraje, definen el inicio y final del puente, respectivamente.
- **Calzada** — Es el área del puente destinada a tránsito vehicular, cuyo ancho se mide en forma perpendicular a eje longitudinal del puente.
- **Eje longitudinal del puente** — Es el eje central del puente que discurre a lo largo del mismo. En aquellos casos donde el puente esté incluido en el estudio general de una carretera o camino, el eje longitudinal corresponderá a la prolongación del eje en planta del camino sobre el puente.
- **Eje de apoyo** — Es la línea que resulta de la intersección del plano de apoyo de la superestructura y de un plano vertical que pasa por el centro de tal plano de apoyo.
- **Especificaciones** — Corresponde a la buena práctica de la ingeniería, para abordar cualquiera de los aspectos mencionados, recurrir a las especificaciones técnicas que constituyen un compendio de recomendaciones o exigencias mínimas técnicas que el profesional deberá seguir para llevar adelante cualquier tarea en el ejercicio de su profesión, tanto en el ámbito del diseño o proyecto como en el de la realización u obra.

- **Especificaciones complementarias** — Instrucciones referidas a obras particulares que establecen procedimientos y especificaciones sobre métodos de ensayo no previstos en las normas nacionales vigentes ni en las instrucciones generales.
- **Especificaciones de construcción** — Similares a las especificaciones generales con un enfoque particular al procedimiento constructivo en función de la tipología y ubicación propia de la estructura.
- **Especificaciones de diseño** — Instrucciones referidas al diseño de las estructuras, consideraciones de carga, materiales, límites de esfuerzos, etc.
- **Especificaciones generales** — Son aquellas instrucciones que definen las características de los materiales y los equipos a emplear, determinan los procedimientos constructivos, los métodos de control de calidad y los criterios para la aceptación o el rechazo de los materiales o de la construcción, fijan la modalidad de elaboración de las valorizaciones y el cronograma de pagos. Son válidas para las obras o para un grupo de obras del organismo contratante.
- **Especificaciones particulares** — Instrucciones que modifican las especificaciones generales, debido a las condiciones especiales de un proyecto determinado; deben ser justificadas por el autor del proyecto y aprobadas por el organismo contratante. Son válidas solamente para el proyecto específico.
- **Longitud del tramo** — Es la longitud entre los bordes de construcción en el caso de tramos isostáticos, y la longitud entre ejes, en el caso de tramos hiperestáticos.
- **Longitud total** — Es la longitud medida entre los bordes del puente y se mide como la diferencia entre las progresivas de entrada y salida del puente, equivalente a la sumatoria de las longitudes de los tramos y la de sus juntas de dilatación.
- **Luz de cálculo** — Es la luz de diseño de las vigas o losas y se mide, normalmente, entre ejes de apoyo.
- **Luz libre o vano** — Es la distancia libre entre las caras de los elementos de la infraestructura (entre caras de estribos, de estribo y pila o entre caras de pila). Según la cantidad de tramos del puente, pueden existir variedad de luces y en tal caso, se hablará de luz mayor y luces menores.
- **Pista o vía de tránsito** — Es la faja de la calzada destinada a la circulación de una sola fila de vehículos.

- **Proyecto** — Comprende todos los estudios y documentos necesarios que hacen posible la construcción de la obra. Los estudios son definitivos y realizados con información más completa y detallada que a nivel de anteproyecto.
- **Puente** — Estructura que se soporta a sí misma y a las cargas del tráfico vehicular y peatonal que pasan encima de ella. El puente da continuidad al camino salvando obstáculos, ya sean naturales o artificiales, tales como ríos, vías de tráfico y/o comunicación, barrancos, depresiones, canales, tubos, etc.
- **Sistemas de drenaje mayor** — Abarcan conjuntos estructurales tales como puentes, viaductos, pasarelas, túneles, muros de gran tamaño y otras obras de magnitud. Estas obras por sus proporciones y características requieren proyectos específicos desarrollados por ingenieros calificados, construidos bajo la responsabilidad de profesionales de experiencia y con la supervisión constante y adecuada en todas las fases de la construcción.
- **Viaducto** — Puente carretero elevado que cruza sobre calles urbanas o sobre líneas férreas.

## 1.3 — Normas de referencia y unidades

### 1.3.1 — Normas de referencia

- (a) El diseño y análisis estructural de los puentes carreteros y estructuras afines se realizará ciñéndose a las disposiciones establecidas en el documento: “AASHTO LRFD Bridges Design Specifications”, 6ta Edición 2013 y sus revisiones provisionales.
- (b) En lo que no se contradiga con las disposiciones establecidas en los documentos anteriores, los criterios de diseño podrán complementarse con los siguientes documentos:
  - (i) Código ACI 318-14 y documentos emitidos por sus comités.
  - (ii) Manuales y Guías de Diseño del Precast Concrete Institute (PCI).
  - (iii) Manuales y Guías de Diseño de la Federal Highway Administration (FWA).
- (c) El uso de normas complementarias para casos no contemplados, en los documentos anteriores, deberán contar con la aprobación previa de la Dirección General de Caminos o la Entidad Contratante.

### 1.3.2 — Unidades

- (a) El análisis y diseño de las estructuras se ajustará a las unidades establecidas en el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- (b) Los proyectos de puentes se ajustarán al contenido de esta normativa por lo cual, las unidades básicas, unidades derivadas y unidades suplementarias se usarán respetando el nombre y símbolo de cada una de ellas.
- (c) No obstante lo anterior, los proyectos podrán ser desarrollados en unidades del sistema MKS y CGS (metro, centímetro, kilo fuerza, gramo fuerza, segundo), siempre que los resultados intermedios y finales se presenten en uno solo de los sistemas (MKS, CGS o Internacional) consistentemente a lo largo de todo el cálculo. Para todos estos efectos, podrán considerarse las equivalencias mostradas en la Tabla 1.3.2-1 y la Tabla 1.3.2-2:

**Tabla 1.3.2-1 — Equivalencias a utilizar en cálculos**

Sistema MKS	SI
1 Kgf	10 N
1 Kgf/cm <sup>2</sup>	0.1 MPa
1 Kgfm	10 N-m

**Tabla 1.3.2-2 — Equivalencias a utilizar en cálculos**

Sistema MKS	SI
1 N	1 Kg-m/seg <sup>2</sup>
1 Pa	1N/m <sup>2</sup>
1 Mpa	10,000,000 Pa

## 1.4 — Tipología de puentes

**1.4.1 Tipología estructural de puentes** — Para definir el diseño final de un puente es importante desarrollar una serie de pasos dentro de los cuales queda integrada una actividad importante que es la definición de la tipología estructural a utilizar. Este proceso general de pasos lógicos y racionales se resumen de la siguiente forma:

(1) Evaluación de las condiciones generales, las cuales no dependen del diseñador y de éstas las básicas son las siguientes:

- (a) Función del puente.
  - (i) El puente se encuentra en la ciudad o en un área rural
  - (ii) La finalidad de la estructura es para peatones, vehículos, trenes, materiales varios u otra
- (b) Trazo
  - (i) Geometrías a resolver
  - (ii) Sección transversal
  - (iii) Posibilidades de ampliación futura
- (c) Geología y geotecnia del lugar.
  - (i) Aparición de fallas que puedan condicionar apoyos y tipos de cimentación
  - (ii) Bajas resistencias del suelo que puedan condicionar el número de claros
- (d) Arquitectura del puente y alrededores
  - (i) Diseño arquitectónico definido
  - (ii) Pequeños detalles de proporcionalidad de la estructura
- (e) Medio Ambiente
  - (i) Exposición agresiva a sales y otros elementos ambientales
  - (ii) Ríos susceptibles a socavación, que requieran análisis hidráulicos para determinar ubicación y separación de pilas en cauces
  - (iii) Otra variable que sea detectada y pueda reducir la vida útil de la estructura
- (f) Condiciones constructivas
  - (i) Rasante previamente definida
  - (ii) Accesibilidad de equipos dentro del cauce por topografías difíciles y/o encañonamientos
  - (iii) Vías con alto tráfico dentro de la ciudad que limitan el uso de obra falsa
  - (iv) Plazos de entrega
- (g) Economía
  - (i) Precio de los materiales por escoger
  - (ii) Repetitividad de secciones
  - (iii) Mantenimiento de estructuras

(2) Determinación de los recursos disponibles, lo cual consiste en la selección de los recursos idóneos para definir el anteproyecto y proponer los materiales que mejor se adapten a las condiciones generales. Son opciones de estos recursos:

- (a) Concreto reforzado
- (b) Concreto preesforzado
- (c) Acero estructural
- (d) Madera
- (e) Cables de alta resistencia
- (f) Aluminio
- (g) Combinaciones de los anteriores.

(3) Anteproyecto definitivo

- Es la etapa del proceso en la cual se define la tipología estructural a proponer, la cual conlleva los resultados de los análisis previos de las condiciones generales del proyecto y de los análisis de los recursos realizados. Es importante que en esta etapa se hayan realizado las actividades que comprenden el anteproyecto del puente.
- La tipología estructural es el resultado de combinar idóneamente materiales de construcción, procesos constructivos y sistemas estructurales a las condiciones generales específicas del proyecto a satisfacer.

(4) Diseño final de ingeniería.

- En esta etapa se realizan todos los estudios y diseños finales del proyecto de puente y para lo cual se tienen definidos en este capítulo todo el proceso y alcance documental que antecede a este paso final.

**1.4.2 Tipologías estructurales de puentes en concreto** — Las siguientes son algunas de las tipologías estructurales de puentes en concreto:

- (a) Losas armadas
- (b) Losas preesforzadas
- (c) Vigas armadas
- (d) Vigas armadas con preesfuerzo pretensado
- (e) Vigas armadas con preesfuerzo postensado
- (f) Arcos armados y/o preesforzados
- (g) Cajones en voladizos sucesivos de sección constante
- (h) Cajones en voladizos sucesivos de sección variable
- (i) Puentes atirantados

**1.4.3 Ejemplos de tipología estructural de puentes en acero** — Las siguientes son algunas de las tipologías estructurales de puentes en acero:

- (a) Vigas
- (b) Armaduras sobre tablero y bajo tablero
- (c) Vigas metálicas en cajón
- (d) Arcos sobre tablero y bajo tablero
- (e) Puentes atirantados
- (f) Puentes colgantes

---

**FIN DEL CAPÍTULO 1**

## CAPÍTULO 2 — INGENIERÍA BÁSICA

---

### 2.1 — Aspectos generales

**2.1.1** En el ámbito de los estudios viales, la ingeniería básica corresponde a los estudios de terreno, laboratorio y gabinete, relativos a los siguientes aspectos:

- (a) **Estudios topográficos y georeferenciación** — Permiten referenciar el proyecto y conocer las características geomorfológicas del lugar en que se emplaza; materias que se presentan en la Sección 2.2 de esta norma.
- (b) **Estudios de hidrología e hidráulica** — Permite estudiar las condiciones que imponen los cursos de agua o el drenaje necesario; materias que se desarrollan en la Sección 2.3 de esta norma.
- (c) **Estudios de geología y geotecnia** — Permiten conocer las características del terreno en que se cimentará la estructura, materia que se realimenta con los aspectos de mecánica fluvial (socavaciones) y con los problemas de drenaje para los pasos a desnivel, todo lo cual permite sentar parte importante de las bases del diseño estructural. Estas materias se tratan en la Sección 2.4 de esta norma.
- (d) **Estudios de impacto ambiental** — Destinados a concebir obras amigables con el medio ambiente, en conformidad con las políticas del Estado, materias que se tratan en la Sección 2.5 de esta norma.
- (e) **Estudios de trazo y diseño vial de los accesos** — Permiten definir las características geométricas y técnicas del tramo de carretera que enlaza el puente en su nueva ubicación con la carretera existente, materias que se tratan en la Sección 2.6 de esta norma.
- (f) **Estudios de tráfico** — Determinan la sección transversal de la superestructura y en oportunidades la carga móvil de diseño, materias que se tratan en la Sección 2.7 de esta norma.
- (g) **Estudios de señalización** — Las medidas de señalización necesarias durante las etapas de construcción y de servicio del puente, materias que se tratan en la Sección 2.8 de esta norma.

## 2.2 — Estudios topográficos y georeferenciación

**2.2.1 Aspectos generales** — La referenciación geodésica de los estudios topográficos para el análisis de un puente u otras estructuras afines, será la misma empleada para el estudio del camino del que ella forma parte, salvo que se trate de un proyecto singular, que requiera de una referenciación especial.

**2.2.2 Referenciación de los estudios** — Todos los estudios para obras viales quedarán referidos planimétricamente a un punto geodésico GPS del Instituto Geográfico Nacional (IGN). En el caso general de puentes pequeños y medianos, el levantamiento topográfico podrá quedar referido a un punto local previamente seleccionado.

### 2.2.3 — Objetivos

- (a) Realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos.
- (b) Proporcionar información de base para los estudios de hidrología, hidráulica, geología, geotecnia, así como, de ecología y sus efectos en el medio ambiente para proyectos integrales.
- (c) Posibilitar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales.
- (d) Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción.

**2.2.4 Alcances** — Los estudios topográficos deberán comprender como mínimo lo presentado en los literales de los Incisos (a) a (j).

- (a) En el levantamiento topográfico general de la zona del proyecto se utilizará una escala 1:200 para mayor comprensión, en casos de puentes mayores de 150 metros se podrá reducir la escala, con curvas de nivel a intervalos de 0.50 metros y comprendiendo por lo menos 50 metros a cada lado del puente en dirección longitudinal (correspondiente al eje de la carretera) y en dirección transversal (la del río u otro obstáculo a ser transpuesto) y en casos especiales se podrá ampliar a solicitud del hidrólogo o recurrir a los mapas con escalas 1:50,000 así como fotografías aéreas digitalizadas del IGN.
- (b) En el caso de la definición de la topografía de la zona de ubicación del puente y sus accesos, se utilizarán planos con una escala de 1:200, considerando curvas de nivel a intervalos no mayores que 0.50 metros y con secciones verticales tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal. Los planos deberán indicar los accesos del puente, así como autopistas, caminos, vías férreas y otras posibles referencias. Deberá indicarse con claridad la vegetación existente.

(c) En el caso de puentes fluviales deberá hacerse un levantamiento detallado del fondo (batimetría del lecho). Será necesario indicar en planos la dirección del curso de agua y los límites aproximados de la zona inundable (ver Sección 2.3) en las condiciones de aguas máximas y mínimas, así como, los observados en eventos de carácter excepcional. Cuando las circunstancias lo ameriten, deberán indicarse los meandros del río. Ubicación e indicación de cotas de puntos referenciales, puntos de inflexión y puntos de inicio y finalización de tramos curvos; ubicación o colocación de mojones de referencia con placa identificadora para proyectos integrales.

(d) El estudio topográfico deberá recopilar toda la información geodésica que sirva de base para establecer la ubicación geográfica de la ruta cuando se trata de puentes a construirse junto con la carretera, en los casos que el puente sea aislado, bastará con referencias tomadas con GPS de uso común.

(e) En el estudio topográfico se deberá establecer una “red de control primario” con al menos dos pares de puntos monumentados con mojones de concreto los cuales garanticen su permanencia, debiendo establecerse éstos fuera del derecho de vía del camino y de los lugares potencialmente susceptibles a sufrir deslizamientos, erosión, y/o inundación. Los puntos deberán ser observables uno del otro y tendrán una separación acorde a la longitud del puente.

(f) Los puntos de esta red podrán ser establecidos por el Instituto Geográfico Nacional, ya sea en mojones geodésicos existentes o, de preferencia, mediante dispositivos GPS con coordenadas GTM y nivelación con nivel electrónico. Se dejará constancia en el terreno de los vértices de la Red de Control Primario mediante hitos monumentados, clavos de acero recibidos con concreto u otro medio que garantice su permanencia. De cada uno de ellos se realizará un croquis con referencias, coordenadas, cota y una fotografía a color, que se presentarán en el informe respectivo en el caso de un proyecto integral.

(g) Para esta red no se aceptarán cilindros de concreto u otro elemento cuyas dimensiones sean fácilmente removibles. Los mojones o bancos de marca (BM) de esta red deberán contar en su base con dimensiones mínimas de 0.50 x 0.50 metros y enterrados al menos 0.60 metros desde la superficie para proyectos integrales.

(h) La topografía inicial podrá ser realizada con estación total o el equipo de precisión. Para la construcción no se aceptará la nivelación de puntos con estación total, está deberá efectuarse utilizando nivel fijo, ya sea óptico o láser aplicable para la línea central del puente.

(i) Los resultados finales de los estudios topográficos serán una serie de archivos generados en cualquier formato CAD en los que se deberá reflejar al menos, los siguientes elementos (cuando aplique):

- (i) Trazo del camino y obras viales existentes.
- (ii) A partir del eje previsto en el diseño base, se realizará un levantamiento planimétrico y altimétrico de detalle de lo que será el derecho de vía para la construcción, más diez metros (10 m) a ambos lados de la carretera y cincuenta metros (50 m) a cada lado en el caso general de puentes.
- (iii) Edificaciones y estructuras.
- (iv) Servicios públicos.
- (v) Drenajes existentes.
- (vi) Pavimentos existentes.
- (vii) Puentes y obras de paso existentes.
- (viii) Cercos y divisiones de propiedades.
- (ix) Desarrollo de los taludes laterales.
- (x) Ríos, quebradas, cauces y cuerpos de agua.
- (xi) Curvas de nivel que reflejen los accidentes topográficos a cada 0.50 m.
- (xii) Otros elementos que puedan resultar de interés para el proyecto.
- (xiii) Referencias de banco de marca (BM).

(j) El diseñador deberá entregar los archivos electrónicos (datos crudos) del levantamiento topográfico que se realice, así como las libretas de campo y demás información topográfica relacionada con el proyecto a realizar.

### 2.2.5 — Base de replanteo

(a) Las redes de bases de replanteo se establecerán mediante poligonales que partirán y cerrarán en puntos de las “redes de control primario”, o de las de aproximación (secundario y/o terciario). Estas poligonales se nivelarán con nivel fijo. El grado de precisión mínimo requerido para las bases de replanteo deberá cumplir con lo establecido para redes de “tercer orden clase I”.

(b) Dichas bases deberán estar dispuestas de tal forma que todas las estaciones enteras del proyecto (puntos a cada 20 metros sobre el eje del proyecto) sean observables desde al menos una base de replanteo. Si el eje de un tramo del proyecto es observable desde puntos de las Redes de Control Primario, Secundario, o Terciario, éstos se utilizarán como bases de replanteo adicionales a dicho tramo.

(c) Desde cada base de replanteo o punto de control que servirá para el replanteo, deberá ser posible observar al menos otra base de replanteo. Adicionalmente los tramos del eje observable desde bases de replanteo adyacentes traslaparán un mínimo de 40 metros.

(d) Las bases de replanteo se situarán fuera de la zona de obras y alejadas del eje, de forma que el replanteo por bisección no produzca ángulos inferiores a 15°.

- (e) Las estaciones enteras que sean replanteadas con observaciones de más de 250 metros de distancia de una base de replanteo, deberán ser replanteadas desde una segunda base de replanteo, para verificar su ubicación.
- (f) La red deberá estar formada por puntos colocados fuera de los laterales de construcción, en ubicaciones que aseguren que no serán alterados por el tráfico, peatones, escorrentía u otros agentes externos razonablemente previsibles. El Contratista se encargará de reponer las bases removidas o desaparecidas previamente a la realización de las operaciones de comprobación del replanteo de las obras.
- (g) En las obras de paso, obras de protección, canalización y/o drenaje, deberán establecerse por lo menos dos bases de replanteo, observables entre sí, fuera de los laterales de construcción. Estas bases podrán ser vértices de las redes de control.
- (h) En las bases de replanteo se darán croquis, reseña con referencias, fotografías, acceso, emplazamiento, denominación y listado de sus coordenadas “x”, “y”, “z” y deben ser dos como mínimo.

**2.2.6 Servicios públicos afectados (cuando aplique)** — Se incluirá una revisión completa de todos los servicios y servidumbres públicos relacionados con el diseño y la ejecución de las obras, indicando sus principales características, la entidad propietaria o gestora del servicio y la longitud o superficie relacionada con.

**2.2.7 Instrumentación** — La instrumentación y el grado de precisión empleados para los trabajos de campo y el procesamiento de los datos deberán ser consistentes con la dimensión del puente y sus accesos y con la magnitud del área estudiada. En cualquier caso, los instrumentos y los procedimientos empleados deberán corresponder a la mejor práctica de la ingeniería.

### **2.2.8 — Documentación**

- (a) La topografía de la zona donde se ubicará el puente deberá documentarse mediante planos con curvas de nivel y fotografías, registros digitales e informes. Los informes deberán detallar las referencias preliminares consultadas, la descripción y las características técnicas del equipo utilizado para la toma de datos, la metodología seguida para el procesamiento de los datos de campo y la obtención de los resultados. Si se dispusiera de estudios topográficos previos, de zonas adyacentes o que involucren el área del proyecto, éstos deberán ser revisados a fin de verificar la compatibilidad de la información obtenida.

- (b) Los planos serán presentados en láminas de formatos tipo A0 o A1, excepto cuando las dimensiones de la estructura hagan indispensable el uso de un formato distinto.
- (c) Los registros digitales serán entregados en medios magnéticos en un formato compatible con los programas especializados utilizados por el departamento técnico de ingeniería -DTI-, Dirección General de Caminos -DGC-, MICIVI o la entidad que diseñe.

### 2.2.9 — Levantamientos

- (a) Los estudios de localización y emplazamiento se desarrollarán inicialmente sobre cartas geográficas (1:25,000 o 1: 50,000) o imágenes satelitales en el Perfil de Proyecto. En etapas de Estudio de Identificación, cuando se cuenta con una localización aproximada, se deberá ejecutar un levantamiento con distanciómetro en escala 1:2,000 y, eventualmente, en 1:1,000, según lo definido como conclusión del Estudio de Identificación. Dicho levantamiento abarcará los tramos aguas arriba y aguas abajo que se definen en la Sección 2.3 “Estudios de hidrología e hidráulica” de esta norma, con el objeto de hacer los estudios allí definidos.
- (b) Para el estudio del emplazamiento definitivo de la estructura, se deberá hacer un levantamiento en escala 1:200 con curvas de nivel cada 0.5 metros en toda la longitud de la estructura, más 50 metros en cada extremo, cuyo ancho será de 50 metros a cada lado del eje.

### 2.2.10 — Perfil longitudinal de terreno

- (a) En primer término se procederá a replantear el eje longitudinal de la estructura según lo definido en el Estudio de Identificación Seleccionado. La nivelación se ejecutará según los procedimientos y tolerancias normalmente empleados, con la salvedad de que los puntos a nivelar no están materializados previamente mediante las estacas del eje del trazado, sino que corresponden a aquellos que definen el fondo del cauce con todas sus singularidades al instante de ejecutar la nivelación.
- (b) Si se trata de un cauce con niveles de agua considerables, se deberán emplear procedimientos batimétricos. El uso de plomada para determinar la profundidad del punto debe hacerse con las precauciones necesarias, en aquellos ríos con corriente importante.
- (c) El Perfil Longitudinal nivelado por el eje de la estructura abarcará la misma extensión definida para la faja de levantamiento escala 1:200, debiendo enlazarse con el Perfil Longitudinal del proyecto carretero.

## 2.3 — Estudios de hidrología e hidráulica

### 2.3.1 — Introducción

- (a) La intervención en cauces naturales requiere del conocimiento apropiado de las crecidas que pueden ocurrir, por lo que la estimación de las mismas, en el tramo del río de interés, será esencial. De esa manera se podrá evaluar el dimensionamiento de las obras necesarias para conducir dichos caudales en forma segura, y las medidas de protección necesarias para la infraestructura en el cauce.
- (b) Las Secciones 2.3.2 a 2.3.7 presentan la metodología, los datos y los resultados necesarios de un estudio hidrológico y una evaluación hidráulica básica para el diseño de un puente ubicado sobre algún cuerpo de agua.

### 2.3.2 — Objetivos

- (a) El objetivo de los estudios es dar a conocer las características hidrológicas y factores hidráulicos del cuerpo de agua que llevan a una real apreciación del comportamiento del mismo y definir los requisitos mínimos del puente, su ubicación óptima, tomando en cuenta los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características de la estructura.
- (b) Para el diseño de un puente el diseñador tiene que tomar en cuenta lo siguiente:
  - (i) En el Diseño se debe revisar y verificar la validez de la información proporcionada, complementando los estudios y diseños que se consideren insuficientes.
  - (ii) Es fundamental que el análisis cuente con los registros meteorológicos de eventos excepcionales y los de soporte del estudio.
  - (iii) El diseñador deberá considerar que los estudios hidrológicos e hidráulicos tienen por finalidad el análisis del régimen de precipitaciones y del resto de características hidrológicas de la cuenca donde se ubica el proyecto, con el fin de poder determinar los caudales generados y así poder dimensionar técnicamente las obras de drenaje y/o de mitigación de riesgos necesarias.
  - (iv) Todos los valores y resultados que se obtengan deben estar claramente justificados con base en los datos de partida del proyecto, tales como: información pluviométrica, información cartográfica, geología de la zona, el uso de la tierra e información de obras existentes (caracterización de la cuenca).

(v) Las avenidas de diseño serán calculadas considerando los diferentes tiempos de descarga de las cuencas tributarias y el retraso causado por la traslación del pico de crecida a lo largo del río o quebrada, hasta la sección de control conforme a métodos convencionales de modelados (HEC-RAS).

(vi) En todos los casos el diseñador deberá analizar todas las condiciones de drenaje que permitan establecer la capacidad hidráulica del cauce, en función de sus condiciones topográficas actuales, así como de las restricciones existentes.

### 2.3.3 — Consideraciones para el diseño

(a) Los puentes ubicados en el cruce con un curso de agua deberán ser diseñados de modo que las alteraciones u obstáculos que estos representen ante el curso de agua existente sean previstos y puedan ser admitidos en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil o se tomen medidas preventivas.

(b) Deberán establecerse las características hidro-geo-dinámicas del sistema fluvial con el objeto de determinar la estabilidad de la obra respecto al comportamiento del cauce. Es importante considerar la posible movilidad del cauce, el aporte de escombros desde la cuenca y los fenómenos de socavación, así como la posibilidad de ocurrencia de derrumbes, deslizamientos e inundaciones.

(c) Deberá considerarse de mayor riesgo la determinación del área de flujo a ser confinada por el puente, que la estimación de las profundidades de socavación.

#### *Comentario 2.3.3 c*

*Generalmente, el daño ocasional producido a la vía y accesos aledaños al puente ante una avenida extraordinaria podrá ser rápidamente reparado para restaurar el servicio de tráfico. Un puente que colapsa o sufre daños estructurales mayores ante la erosión puede amenazar la seguridad de los transeúntes y crear impactos sociales y pérdidas económicas significativas por un largo período de tiempo.*

(d) El estudio deberá indicar los períodos de sequía, de avenidas y de transición, para recomendar las previsiones a tomarse en cuenta antes, durante y después de la construcción de las estructuras ubicadas en el cauce.

(e) Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deberán permitir establecer lo siguiente:

- (i) Ubicación óptima del cruce.
- (ii) Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce.

- (iii) Comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende el cruce.
- (iv) Área de flujo a ser confinada por el puente.
- (v) Nivel de aguas máximas (NAM) en la ubicación del puente.
- (vi) Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente 2.50 metros por encima del espejo del agua (LRFD) dependiendo de la curva hipsométrica.
- (vii) Profundidades de socavación general, por contracción del cauce y local por la pendiente del tramo en estudio.
- (viii) Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de la misma.
- (ix) Obras de protección necesarias como la provisión para la construcción y las consideraciones de diseño adicionales. En caso de remplazo, si el puente está colapsado será necesario obtener los parámetros de diseño anteriores.

#### 2.3.4 — *Requerimientos generales*

- (a) Será obligatoria la visita de campo para el reconocimiento del lugar tanto en la zona de cruce como de la cuenca global.
- (b) Será necesario el levantamiento topográfico del tramo en estudio, determinación de las profundidades de socavación general, por contracción, local y total y la evaluación de las estimaciones de socavación total.
- (c) Será necesaria la recolección y análisis de información hidrométrica y meteorológica existente. Esta información podrá ser proporcionada por entidades locales o nacionales.

##### *Comentario 2.3.4 c*

*Algunos ejemplos de estas entidades son: Ministerio de Agricultura, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Comunicaciones a través del INSIVUMEH, CONRED, Ministerio de Energía y Minas a través del INDE, o entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos del lugar.*

#### 2.3.5 — *Hidrología*

- (a) En el análisis hidrológico deberán tenerse presentes las limitaciones y condiciones de desarrollo de las metodologías que se utiliza.

##### *Comentario 2.3.5 a*

*Este es un aspecto de gran importancia, ya que en nuestro medio es común la utilización de formulaciones desarrolladas en otros países con condiciones hidrológicas y topográficas diferentes a las nuestras; sin embargo, son las herramientas disponibles ya que no existe la instrumentación adecuada para obtener datos confiables de la relación lluvia - escorrentía en la cuenca de estudio.*

(b) El estudio hidrológico deberá contemplar el cálculo de parámetros morfométricos, tiempos de concentración, duración e intensidad de la lluvia y cálculo de caudales a partir de diferentes metodologías.

(c) Datos de partida

(i) Recolección y análisis de información hidrométrica y meteorológica existente:

- Se consultarán las publicaciones existentes del INSIVUMEH, INDE o cualquier otro organismo, en lo referente a los datos climáticos de la zona del proyecto. Se recabarán y presentarán documentos oficiales que permitan la verificación de su autenticidad. Los datos pluviográficos (duración e intensidad de las lluvias) y datos pluviométricos (registros de precipitación máxima diaria), en distintas estaciones que cubran la(s) cuenca(s) objeto de análisis.
- Las publicaciones presentadas deben ser de preferencia las realizadas en los últimos cinco años y la información recopilada debe provenir de estaciones climatológicas que actualmente se encuentren activas o que al menos tengan registros (completos, incompletos, medidos o rellenados) en un lapso de tiempo definido por el hidrólogo previo a la realización del proyecto. De no ser posible cumplir las condiciones anteriores, deberá presentarse la información disponible y las consideraciones conservadoras que se tomarán en el diseño debido a la insuficiencia de la información disponible.

(ii) Caracterización hidrológica de la cuenca, considerada hasta el cruce del curso de agua:

- En base a la determinación de las características de respuesta lluvia-escorrentía, y considerando aportes adicionales en la cuenca, se analizará la aplicabilidad de los distintos métodos de estimación del caudal máximo.
- También serán datos de partida la cartografía, mapas de usos de suelos y mapas geológicos o litológicos de la(s) cuenca(s) objeto del proyecto. Se elaborará un cuadro resumen de la(s) estacione(s) seleccionada(s) con indicación expresa del código de identificación, cuenca hidrográfica en la que se localiza, sub-cuenca si es necesario de acuerdo al tamaño de los proyectos, tipo de estación (pluviométrica, termo pluviométrica, etc.), nombre, coordenadas, altitud, número de años con datos y número de años con datos completos.

(d) Contenido

(i) Estudio de las precipitaciones máximas previsibles y curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia):

- Partiendo de los datos sobre precipitaciones diarias máximas, se calcularán las precipitaciones máximas previsibles en 24 horas para los diferentes períodos de retorno, generando y graficando las series de precipitaciones máximas en 24 horas, con indicación del año y mes de ocurrencia, sobre las que se aplicarán como mínimo las distribuciones de Gumbel y SQRT-ET máx, escogiendo para cada período de retorno la precipitación máxima más desfavorable entre ambas.
- Se realizará un cuadro resumen con la(s) estacione(s) tratadas y las precipitaciones máximas adoptadas en ellas para los distintos períodos de retorno, así como la generación de las curvas IDF para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años de la(s) estacione(s) utilizadas para el proyecto.

(ii) Períodos de retorno:

- El período de retorno dependerá de la importancia de la estructura, garantizando un estándar hidráulico mayor para el diseño de la cimentación del puente que el usualmente requerido para el dimensionamiento del área de flujo a ser confinada por el puente.
- Para la determinación de la avenida de diseño se tendrán en cuenta los períodos de retorno mostrados en la Tabla 2.3.5 -1:

**Tabla 2.3.5-1 — Periodos de retorno para la determinación de la avenida de diseño**

Tipo de elemento de drenaje	Período de retorno de diseño (años)
Obras de protección para ríos y/o quebradas cuya área de cuenca sea inferior a 10 km <sup>2</sup>	50
Obras de protección para ríos y/o quebradas cuya área de cuenca sea superior a 10 km <sup>2</sup>	100
Según importancia de la vía <sup>[1]</sup>	100 o 200
Puentes mayores de 100 metros	500

[1] Lo normado por la Dirección General de Caminos - Libro Azul.

(iii) Estudio de cuencas:

- Previo a la delimitación de cuencas se deberá investigar la existencia de planos para la región de interés con escalas 1:50,000 o escalas más reducidas. En caso de que no existan, se deberá utilizar la mejor escala disponible.
  - Se delimitarán la(s) distinta(s) cuenca(s) a escala 1:50,000; las cuencas que por su superficie no se observen a estas escalas, se deberán estudiar a escalas más reducidas. Los planos de delimitación de cuencas deberán disponer de la topografía y curvas de nivel suficientes para apreciar el correcto trazado de las divisorias. De cada cuenca se obtendrán las características físicas necesarias para el cálculo de los caudales en ella generados, realizándose los cuadros resumen necesarios donde se especifiquen, al menos, las siguientes características de cada cuenca:
    - Nomenclatura
    - Superficie de la cuenca hasta el punto de interés
    - Longitud de la cuenca siguiendo el recorrido más largo posible de la escorrentía
    - Desnivel entre la cabecera de la cuenca y el punto de interés
    - Pendiente media resultante
    - Descripción de la geología de la cuenca
    - Descripción de la cobertura vegetal
    - Distintos usos, actuales y proyectados, según los planes de desarrollo oficiales de la tierra, especificando su incidencia en el total de la cuenca
  - Caracterización morfológica del cauce: Es especialmente importante la determinación de la estabilidad, estática o dinámica, o inestabilidad del cauce, y asimismo, el aporte de escombros desde la cuenca, los cuales permitirán pre-establecer las condiciones a las que estará expuesta la estructura.
  - Determinación de las características físicas del cauce, incluyendo las llanuras de inundación: Estas incluyen la pendiente del cauce en el tramo de estudio, diámetro medio del material del lecho tomado a partir de varias muestras del cauce, coeficientes de rugosidad considerando la presencia o no de vegetación, materiales cohesivos, etc.
- (iv) Tiempos de concentración:
- Según la metodología a utilizar para la determinación de los caudales hidrológicos, se deberá calcular el tiempo de concentración utilizando para ello la fórmula que mejor aplique a la cuenca de interés.
- (v) Coeficiente de escorrentía:

- Se determinará el coeficiente de escorrentía de cada cuenca, en función de la vegetación, uso del suelo, la clasificación de éste y su topografía, para lo cual deberá tomarse en cuenta el uso actual y futuro de los terrenos dentro del área de influencia de la cuenca.
- Para la selección del coeficiente de escorrentía, se deberán tomar las condiciones del uso futuro del suelo según los planes de ordenamiento territorial, según la jurisdicción del proyecto.

(vi) Selección de los métodos de estimación del caudal máximo de diseño:

- Para el cálculo del caudal máximo a partir de datos de lluvia se pueden utilizar los métodos siguientes:
  - El método racional.
  - Métodos basados en hidrogramas unitarios sintéticos.
  - Métodos empíricos con información histórica, etc.
- Su aplicabilidad depende de las características de la cuenca; en caso de contarse con registros hidrométricos de calidad comprobada, puede efectuarse un análisis de frecuencia que permitirá obtener directamente valores de caudal máximo para distintas probabilidades de ocurrencia (períodos de retorno).

(vii) Estimación de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno y según distintos métodos:

- En todos los casos se deberá llevar a cabo una prueba de ajuste de los distintos métodos de análisis de frecuencia (Gumbel, Log-Pearson Tipo III, Log– Normal, etc.) para seleccionar el mejor.
- Adicionalmente, podrán corroborarse los resultados bien sea mediante factores obtenidos a partir de un análisis regional o, de ser posible, evaluando las huellas de nivel de la superficie de agua dejadas por avenidas extraordinarias recientes.

(viii) Cálculo de los caudales:

- Se determinarán los caudales de las cuencas mediante un análisis de las series de precipitaciones, ajustándolas a una distribución específica y procediendo al cálculo de la transformación de precipitación en escorrentía, mediante la aplicación de un modelo hidrológico.
- Dentro de la metodología arriba indicada, se utilizará en cuencas naturales con superficie inferior a 1.5 km<sup>2</sup> el método de la Fórmula

Racional, y para cuencas cuya superficie sea superior a 1.5 km<sup>2</sup> los métodos de modelación de hidrogramas como el software HEC-HMS. En caso de utilizar aplicaciones informáticas (software especializado u hojas de cálculo) se deberá incluir un resumen del procedimiento de cálculo realizado por la aplicación, así como una descripción y análisis de los parámetros empleados en el proceso. Los datos de entrada y salida utilizados para el cálculo deberán estar claramente justificados indicándose la base científica que sustenta dicha suposición.

- Para la determinación de la avenida de diseño se tendrán en cuenta periodos de retorno acorde a la obra hidráulica y/o de protección a diseñar.
  - Una vez calculados los caudales de la(s) cuencas(s) se elaborará un cuadro resumen con la especificación de:
    - Nombre de la cuenca
    - Obra de drenaje y/o protección previstas
    - Superficie de la cuenca
    - Tiempo de concentración
    - Intensidad máxima horaria
    - Coeficientes de escorrentía resultantes
    - Caudal máximo para el período de retorno correspondiente a la obra proyectada
  - Todos los cálculos informáticos deberán ser entregados en formato digital e impreso.
- (ix) Evaluación de las estimaciones de caudal máximo:
- Se deberá elegir el resultado que, a criterio del ingeniero, se estime confiable y lógico.

### 2.3.6 — Hidráulica

(a) Antes de analizar la capacidad hidráulica del puente, se deberá realizar una descripción de los aspectos generales geomorfológicos del cauce con la finalidad de conocer sus características relativas a la estabilidad del cauce y su relación con las estructuras de soporte del puente.

(b) Con base a los caudales de diseño y las características geométricas del puente se deberá evaluar la capacidad de descarga (caudales) de las secciones del mismo.

(c) *Datos de partida:*

(i) *Levantamiento topográfico*: Se deberá realizar un levantamiento topográfico de tipo altiplanimétrico, el cual deberá de ser como está indicado en la Sección 2.2. Para casos especiales de puentes de magnitud considerable mayores de 100 metros deberá realizarse 300 metros aguas arriba y 200 metros aguas abajo, con levantamiento a detalle con secciones a cada 20 metros, del punto de interés.

**Comentario 2.3.6 c**

*El levantamiento topográfico de tipo altiplanimétrico consiste en la obtención de una nube de puntos georeferenciados, los cuales se interpolaron para obtener las curvas de nivel.*

(ii) *Batimetría*: A partir del levantamiento topográfico realizado para el tramo de estudio se extraerán secciones transversales del canal, las cuales son perpendiculares al flujo, tomándolas con la siguiente distribución:

- Aguas arriba de donde se pretende ubicar la estructura.
- Aguas abajo de donde se pretende ubicar la estructura.
- Sección en donde se construirá el puente.

(iii) *Contenido*:

- *Estudio de las precipitaciones máximas previsibles y curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia)* — Para el diseño hidráulico de las obras de drenaje se determinará la tormenta de diseño, para lo cual se generaron las curvas IDF para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años de la(s) estacione(s) utilizadas para el proyecto, en el apartado del estudio hidrológico.
- *Selección de secciones transversales representativas del cauce y obtención del perfil longitudinal* — La longitud del tramo a ser analizado dependerá de las condiciones de flujo previstas, por ejemplo, alteraciones aguas arriba o aguas abajo que debieran considerarse.
- *Determinación del perfil de flujo ante el paso del caudal de diseño a lo largo del cauce y determinación de las características hidráulicas del flujo* — Estas comprenden la velocidad media, ancho superficial, área de flujo, pendiente de la línea de energía, nivel de la superficie de agua, etc., cuyos valores son necesarios para la determinación de la profundidad de socavación.
- *Metodología de evaluación hidráulica* — Este componente se relaciona a la evaluación hidráulica del tramo del río inmediato al puente. Esta evaluación se hace considerando dos escenarios. El

primero consiste en la estimación de los perfiles de flujo, áreas susceptibles de inundación y velocidades del flujo. En el segundo escenario se obtienen la magnitud de las mismas variables bajo condiciones de la protección de las márgenes del río, con enrocado.

- **Fórmulas hidráulicas** — Las estimaciones se basan en la aplicación del software HEC-RAS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Este software se basa en las Ecuaciones 2.3.6-1 y 2.3.6-2, donde la primera relaciona la velocidad media del flujo con las características geométricas y de energía del conducto, mientras que la segunda, relaciona el caudal con la velocidad media del flujo y la sección hidráulica.
  - Ecuación hidráulica de Manning-Strickler (M-S)

$$V = k * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (2.3.6-1)$$

- Ecuación de continuidad

$$Q = AV \quad (2.3.6-2)$$

Donde:

- **V** es velocidad media del flujo en el conducto (m/s)
- **K** es coeficiente de rugosidad de M-S ( $m^{1/3}/s$ )
- **S** es la pendiente hidráulica (adimensional)
- **Q** es el Caudal ( $m^3/s$ )
- **R** es el radio hidráulico (m)

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.3.6-3)$$

Donde:

- **A** es la sección hidráulica ( $m^2$ )
- **P** es perímetro mojado (m)

- **Análisis de socavación** — Los diseños de las nuevas estructuras deberán considerar el hecho que los daños en las obras de protección y mitigación existentes se deben principalmente a los problemas de socavación producto de las condiciones naturales del cauce de la quebrada. Se deberán determinar las profundidades de socavación general, por contracción, local y total, y realizar la evaluación de las estimaciones de socavación total. Adicionalmente se deberán emitir recomendaciones de protección y/o consideraciones de diseño adicionales. Para determinar los niveles de desplazamiento de material por socavación deberá realizarse un estudio completo tomando como base cualquiera de los métodos actualmente reconocidos utilizando métodos de cálculo de reconocida validez y aplicación.
- **Análisis de resultados** — El Diseñador, con el objetivo de conocer el comportamiento del flujo, la velocidad de éste, y el nivel de aguas máximo para la avenida de diseño en cualquier punto de la zona de interés, deberá realizar una modelación hidráulica. Para ello se deberá utilizar un software especializado tal como HEC-RAS o similar y utilizar topografía de detalle obtenida para el caso. Con los resultados de la modelación hidráulica se deberán proyectar las obras de protección y/o mitigación del cauce que sean necesarias, tales como muros laterales, muros guarda nivel, revestimientos del cauce, canalizaciones, etc.

### 2.3.7 — Lineamientos hidrológicos e hidráulicos

(a) Deberá considerarse el estudio del comportamiento del flujo del río en las zonas próximas al sitio de emplazamiento probable, esto con el objeto de proponer obras de protección para los estribos y aproximaciones del puente ante el impacto del flujo. La protección deberá darse desde los costados de los estribos, siguiendo sobre los márgenes del río, tanto hacia aguas arriba como aguas abajo, brindando las condiciones de protección necesarias según el tipo y dirección de flujo.

#### *Comentario 2.3.7 a*

*El Ministerio no aceptará materiales no certificados bajo las normas de calidad de materiales de la ASTM, AASHTO, o normativas equivalentes de organizaciones reconocidas (BS, DIN, Eurocode).*

(b) Para los estribos y aletones, deberán considerarse obras de protección y drenaje para canalizar las aguas que llegan desde las vías hacia el puente.

**Comentario 2.3.7 b**

*En algunas ocasiones se ha observado que las vías carecen de obras de conducción de agua pluvial, por lo que se hace necesario dotar a estas de los drenajes apropiados.*

## 2.4 — Estudios de geología y geotecnia

### 2.4.1 — Estudios Geológicos

(a) El objetivo de estos estudios será establecer las características locales y generales de las diferentes formaciones geológicas que se encuentran en un proyecto particular, identificando tanto su distribución como sus características geotécnicas correspondientes.

(b) El alcance del programa de estudios deberá considerar exploraciones de campo, cuya cantidad será determinada en base a la envergadura del proyecto. Las estructuras de puentes están consideradas como obras esenciales e importantes de acuerdo a la Norma NSE 1, por lo que los estudios indicados en estas especificaciones deberán ser complementados, si fuera necesario, por la Norma NSE 2.1. Este tipo de estudios comprenderán:

- (i) Revisión de información existente y descripción de la geología a nivel regional y local.
- (ii) Descripción geomorfológica.
- (iii) Zonificación geológica de la zona.
- (iv) Identificación y caracterización de fallas geológicas.
- (v) Definición de las propiedades físicas y mecánicas de suelos y/o rocas.
- (vi) Definición de zonas de deslizamientos y aluviones sucedidos en el pasado y de potencial ocurrencia en el futuro.
- (vii) Recomendación de canteras y bancos de préstamo para materiales de construcción.
- (viii) Para puentes aislados y menores de 100 metros no se requerirá estudios geológicos a detalle.

### 2.4.2 — Estudios Geotécnicos

**2.4.2.1** El objetivo de estos estudios será establecer la estratigrafía, las características geotécnicas, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos o rocas para el diseño de cimentaciones estables.

**2.4.2.2** El estudio deberá considerar exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, cuya cantidad será determinada en base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y las condiciones del suelo. Los estudios deberán comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos.

**2.4.2.3** Los puentes se construyen en sitios con condiciones geológicas y ambientales particulares, en muchos casos bastante complicados, que deben ser conocidas y controladas por parte del diseñador, ya que pueden suponer un riesgo tanto durante la construcción del puente como a lo largo de la vida útil del mismo.

**2.4.2.4** En particular, los estudios geotécnicos aportarán información sobre los aspectos geológicos y de suelos que permitirán adoptar medidas para mitigar los riesgos naturales inherentes a las condiciones del terreno y lograr una cimentación segura, confiable y económica.

**2.4.2.5** La presente norma tiene por objeto describir el alcance técnico necesario para un estudio geotécnico en cada sitio. Generalmente un estudio geotécnico comprende las siguientes etapas:

- (a) Etapa de estudios preliminares
  - (i) En esta etapa se evaluará la información disponible como: topografía, geología, sismicidad, clima, vegetación, hidrología, presencia de edificaciones vecinas, etc. Incluirá el reconocimiento del terreno y de su entorno.
  - (ii) Dependiendo de la envergadura del proyecto y del tipo de suelo, se podrán realizar ensayos de refracción sísmica, complementados por perforaciones o excavaciones de verificación en sustitución a los trabajos antes mencionados. Se presentarán los resultados y recomendaciones sobre especificaciones constructivas y obras de protección.
  - (iii) Los ensayos de campo serán realizados para obtener los parámetros de resistencia y deformación de los suelos o rocas de fundación, así como, el perfil estratigráfico con sondeos que estarán realizados en función de la longitud del puente, número de estribos, pilares y longitud de accesos. Los métodos de ensayo realizados en campo deben estar claramente referidos a prácticas establecidas y normas técnicas especializadas relacionadas con los ensayos respectivos.
  - (iv) La cantidad y profundidad de sondeos deberá tomar en cuenta la magnitud y complejidad del proyecto. En el caso de puentes de hasta 100 metros, se preverá como mínimo un sondeo de exploración por cada componente, sea éste estribo, zapata, pilar, bloque de anclaje, grupo de pilotes, etc.
  - (v) En caso de puentes de gran longitud, deberá tomarse en cuenta la variabilidad de las condiciones del terreno a lo largo del eje del puente. La profundidad de las exploraciones y sondeos estará definida considerando un pre-dimensionamiento de la cimentación y las condiciones locales del subsuelo. Si las condiciones del subsuelo lo

requieren, se deberá extender la profundidad de los sondeos por debajo del nivel de cimentación de 2 a 3 veces el ancho previsto de las zapatas o 2 metros bajo el nivel inferior de las cimentaciones profundas. En el caso de macizos rocosos, se requerirá extender la profundidad de los sondeos 3 metros por debajo del nivel del estrato rocoso.

(b) Campaña geotécnica o etapa de prospección

(i) La campaña geotécnica comprenderá como mínimo lo siguiente:

- Perforaciones a máquina con ensayo de penetración dinámica (SPT) a intervalos apropiados, pero nunca mayor que 1.5 metros o CPT con registro continuo si las condiciones locales del subsuelo lo permiten. Acerca de la cantidad de sondeos, como mínimo, se deberá realizar una perforación en cada estribo y una perforación por cada pila.
- Especificaciones mínimas para las perforaciones:
  - *Para puentes con luces hasta 20 metros* — La profundidad de los sondeos nunca será menor de 20 metros en suelo blando y si fuera suelo rocoso o suelo muy consolidado el Ingeniero Geotécnico decidirá la profundidad de sondeos.
  - *Para puentes con luces hasta 30 metros* — La profundidad de los sondeos nunca será menor de 30 metros en suelo blando y si fuera suelo rocoso o suelo muy consolidado el geotécnico decidirá la profundidad de sondeos.
  - *Para puentes con luces mayores a 40 metros* — La profundidad de los sondeos nunca será menor de 40 metros en suelo blando y si fuera suelo rocoso o suelo muy consolidado el geotécnico decidirá la profundidad de sondeos.
  - *Para puentes de gran longitud*— Se requerirá que cumplan con las siguientes especificaciones:
    - Los sondeos se harán en diámetro HQ (96 milímetros externo y 63.5 milímetros interno) y el sondeo deberá entubarse en toda su profundidad con tubería HW.
    - Los sondeos deberán estabilizarse con lodos bentoníticos para permitir evaluar potencial de licuefacción.
    - Se tomarán las muestras inalteradas necesarias de los estratos más significativos del subsuelo, usando muestreadores adecuados, para los ensayos de laboratorio.

- Se analizará igualmente la excavabilidad del terreno, su estabilidad, la situación del nivel freático y su posible variación.
- En cualquier caso, el alcance de la campaña de prospección podrá ser modificado, con la aprobación de la Supervisión, para adaptarse a las condiciones reales del subsuelo.
- La campaña de prospección puede ir complementada con prospección geofísica o con un estudio geológico.

(ii) Si el estudio geotécnico incluye geología, el informe deberá incluir:

- Revisión de información existente y descripción de la geología a nivel regional y local.
- Métodos usados en el estudio como levantamiento de geología superficial, fotografías aéreas, mapas, información publicada en literatura técnica, etc.
- Descripción geomorfológica.
- Definición de zonas de deslizamiento e inestabilidad y su potencial ocurrencia en el futuro.
- Identificación y caracterización de fallas geológicas, grietas y discontinuidades que puedan afectar a la estructura en proyecto.
- Discusión del efecto que las fallas, grietas o discontinuidades puedan tener sobre el puente.

(iii) Si se incluyen estudios geofísicos, el informe deberá comprender:

- Tipo de levantamiento geofísico
- Posición del nivel freático
- Resistividad eléctrica
- Velocidades de ondas de compresión y de corte
- Módulos de elasticidad, rigidez y de Poisson

(c) *Ensayos de laboratorio:* Los métodos usados en los ensayos de laboratorio deben estar claramente referidos a normas técnicas especializadas relacionadas con los ensayos respectivos. Pueden considerarse los ensayos que se listan a continuación:

- (i) Ensayos de Contenido de Humedad.
  - (ii) Ensayos de Identificación (Límites de Atterberg y Distribución Granulométrica).
  - (iii) Ensayo de Consolidación para medir la compresibilidad del suelo.
  - (iv) Ensayo de corte directo o triaxial para medir la resistencia al corte.
  - (v) Ensayo de compresión simple a muestras de roca.
  - (vi) Análisis químicos, para evaluar la presencia de cloruros, sulfatos, sales solubles totales, Ph, etc.
- (d) *Informe geotécnico:*
- (i) Se elaborará un Informe Geotécnico con las conclusiones y criterios aplicables al proyecto entre las que se especificarán las condiciones y recomendaciones de cimentación y contención del terreno. El Informe tratará al menos los puntos siguientes:
    - Alcances y objetivos del Informe Geotécnico.
    - Descripción de la obra, proyecto.
    - Trabajos de campo efectuados.
    - Registros de los sondeos, que incluyan:
      - Las coordenadas del sitio de perforación
      - La cota del sitio de perforación
      - Equipo usado para la perforación
      - Diámetro de la perforación
      - Tipos de muestreadores usados
      - Descripción de los suelos y rocas encontrados
      - Situación del nivel freático
      - Resultados de los ensayos de penetración dinámica (SPT)
      - Clasificación unificada de los suelos y clasificación de las rocas
      - RQD de los macizos rocosos
    - Ensayos de laboratorio y listado de normas usadas para la ejecución de los ensayos.
    - Descripción de las condiciones geológicas y geotécnicas del emplazamiento.

- Determinación de parámetros para diseño sísmico.
  - Evaluación del potencial de licuefacción y la forma de mitigarla (ver Capítulo 9 de la Norma NSE 2.1).
  - Estimación de la profundidad de socavación.
  - Recomendaciones para el movimiento de tierras y construcción de rellenos.
  - Mejoramiento de suelos a nivel de cimentación, control en sitio.
  - Tipo de cimentación y cota de cimentación, capacidad soporte admisible, estimación de asentamientos, resistividad, etc.
  - Empujes de suelos contra los muros de contención.
  - Recomendaciones especiales: protección de la cimentación y de elementos estructurales, protección del cauce.
- (ii) Los Anexos del informe estarán divididos en los apartados correspondientes a trabajos de campo y ensayos de laboratorio, y contendrán toda la información básica necesaria de manera que el informe pueda entenderse claramente con relación a ellos, sin que queden lagunas de información.
- (iii) Con base en las observaciones de campo y en la investigación geotécnica (campo y laboratorio), el ingeniero geotécnico redactará un informe de conclusiones y recomendaciones con el siguiente contenido:
- Movimiento de tierras (corte y construcción de rellenos): Del estudio geotécnico se estimarán los niveles de material de corte que deberán ser llevados a botaderos, por no reunir las condiciones necesarias para la construcción de rellenos; y para conseguir los niveles requeridos para cada una de las obras del proyecto (se realizará en la carretera).
  - Cimentaciones: Con los datos disponibles y tomando en cuenta las propuestas de obras a implementar en la zona, se harán recomendaciones sobre:
    - Tipo de cimentación.
    - Estrato y cota de cimentación recomendada.
    - Carga admisible sobre el terreno a la profundidad o cota de cimentación recomendada.
    - Situación del plano de cimentación.
    - Dimensionamiento y cálculo de la cimentación.

- Especificación de la calidad de los materiales a emplear en la construcción de la cimentación.

(e) Interrelación con los estudios hidrológicos: En caso de puentes sobre cursos de agua, la información sobre la geomorfología y las condiciones del subsuelo del cauce y alrededores, son complementarias con aquella obtenida de los estudios hidrológicos. El diseño de los elementos de la subestructura se realizará tomando en cuenta además la influencia de la socavación y la subpresión en el diseño. El nivel de cimentación deberá estar por debajo de la profundidad de socavación estimada.

## 2.5 — Estudios de impacto ambiental

**2.5.1 Enfoque** — La construcción de un puente facilita el desplazamiento de vehículos y personas en beneficio de las poblaciones en las que se construye. Su construcción debe ser armoniosa con el medio ambiente, lo que requiere un enfoque global ambiental.

### *Comentario 2.5.1*

*Muchas veces esta modificación es positiva para los objetivos sociales y económicos que se tratan de alcanzar, pero en muchas otras ocasiones la falta de un debido planeamiento en su ubicación, fase de construcción y etapa de operación puede conducir a serios desajustes debido a la alteración de los ecosistemas.*

**2.5.2 Objetivos y alcances** — Los estudios ecológicos tendrán como finalidad:

- (a) Identificar en forma oportuna el problema ambiental, incluyendo una evaluación de impacto ambiental en la concepción de los proyectos. De esta forma se diseñarán proyectos con mejoras ambientales y se evitarán, atenuarán o compensarán los impactos adversos.
- (b) Establecer las condiciones ambientales de la zona de estudio.
- (c) Definir el grado de agresividad del medio ambiente sobre la subestructura y la superestructura del puente.
- (d) Establecer el impacto que pueden tener las obras del puente y sus accesos sobre el medio ambiente, a nivel de los procedimientos constructivos y durante el servicio del puente.
- (e) Recomendar las especificaciones de diseño, construcción y mantenimiento para garantizar la durabilidad del puente.

### 2.5.3 — *Requerimientos de los estudios*

(a) La evaluación de impacto ambiental será establecida por la Autoridad Competente y será necesaria principalmente en aquellos proyectos con mayor potencial para impactar negativamente en el ambiente, como es el caso de las nuevas estructuras.

(b) Los estudios deberán desarrollarse basándose en el Marco Legal del Ministerio de Ambiente que aprueba los "Términos de Referencia para Estudios de impacto Ambiental en la Construcción Vial" y en el "Manual Ambiental para el Diseño y construcción de Vías" propuesto por la Dirección General del Medio Ambiente.

**2.5.4 Métodos de análisis** — La metodología a seguir en un estudio de impacto ambiental será la siguiente:

(a) **Identificación de impactos** — Consiste en identificar los probables impactos a ser investigados, para lo cual es necesario conocer primero, de la manera más amplia, el escenario sobre el cual incide el proyecto cuya ubicación, ejecución y operación afectará el entorno ecológico. Así mismo, es imprescindible el conocimiento del proyecto a desarrollar, que involucra no sólo el contexto técnico sino también el beneficio social y experiencias del desarrollo de este tipo de proyectos en otros escenarios.

(b) **Previsión de impactos** — El objetivo en este nivel está orientado hacia la descripción cuantitativa o cualitativa, o una combinación de ambas, de las principales consecuencias ambientales que se han detectado en el análisis previo y el beneficio de esta obra.

(c) **Interpretación de impactos** — Implica analizar cuán importante es la alteración medio ambiental en relación a la conservación original del área.

(d) **Información a las comunidades y a las autoridades sobre los impactos ambientales** — En esta etapa hay que sintetizar los impactos para presentarlos al público que será afectado por los impactos ambientales detectados y a las autoridades políticas con poder de decisión. La presentación deberá ser lo suficientemente objetiva para mostrar las ventajas y desventajas que conlleva la ejecución del proyecto.

(e) **Plan de monitoreo o control ambiental** — Fundamentalmente en esta etapa se debe tener en cuenta las propuestas de las medidas de mitigación y de compensación en función de los problemas detectados en los pasos previos considerados en el estudio; asimismo, la supervisión ambiental sustentada en normas legales y técnicas para el cumplimiento estricto de las recomendaciones.

**2.5.5 Información mínima para estudios de impacto ambiental para puentes** — Como mínimo los estudios de impacto ambiental para puentes deberán incluir la siguiente información:

- (a) Fauna silvestre
- (b) Flora adyacente
- (c) Presencia de agua en el cauce
- (d) Relieve topográfico
- (e) Deforestación en los taludes del cauce
- (f) Probabilidad de erosión lateral de los taludes
- (g) Material sedimentado en el lecho del cauce
- (h) Presencia de recursos hidrobiológicos
- (i) Valor estético del paisaje
- (j) Densidad de población
- (k) Red de transportes adyacentes
- (l) Otras estructuras adyacentes

### **2.5.6 — Documentación**

- (a) Los estudios deberán ser documentados mediante un informe que contendrá, como mínimo lo siguiente:
  - (i) Descripción de los componentes ambientales del área de influencia del proyecto.
  - (ii) Análisis de la información sobre el estado de los puentes adyacentes a la zona del proyecto.
- (b) Aplicaciones metodológicas e identificación de impactos ambientales potenciales.
  - (i) Identificación de medidas preventivas y correctivas.
  - (ii) Conclusiones y recomendaciones.

## **2.6 — Estudios del trazo y diseño vial de los accesos**

**2.6.1 Objetivos** — Los estudios del trazo y diseño vial de los accesos tienen como objetivo definir las características geométricas y técnicas del tramo de carretera que enlaza el puente en su nueva ubicación con la carretera existente.

**2.6.2 Alcances** — Los estudios del trazo y diseño vial de los accesos comprenden:

- (a) **Diseño Geométrico:**

- (i) Definición del alineamiento horizontal y perfil longitudinal del eje en los tramos de los accesos.
  - (ii) Definición de las características geométricas (ancho) de la calzada, bermas y cunetas en las diferentes zonas de corte y relleno de los accesos.
- (b) **Trabajos Topográficos:**
- (i) Levantamiento topográfico con curvas de nivel cada 1 m. y con secciones transversales cada 10 o 20 m.
  - (ii) Estacado del eje con distancias de 20 m. para tramos en tangente y cada 10 m. para tramos en curva.
  - (iii) Referencia de los vértices (PI) de la poligonal definitiva y los puntos de principio (PC) o fin (PT) de las curvas, respecto a marcas en el terreno o mojones de hormigón debidamente protegidos que permitan su fácil ubicación.
  - (iv) Cálculo de las coordenadas de los vértices de la poligonal definitiva teniendo como referencia los hitos geodésicos más cercanos.
- (c) **Diseño de Pavimentos:** Determinación de las características geométricas y dimensiones técnicas del pavimento de los accesos, incluyendo la carpeta asfáltica, base y sub-base. Lo anterior aplica si la carretera es asfaltada y no aplica si la misma es de terracería.
- (d) **Diseño de señalización:** Ubicación de cada tipo de señal con su croquis respectivo.

**2.6.3 Documentación** — Los estudios deberán ser documentados mediante un informe que contendrá como mínimo, lo siguiente:

- (a) Planos de curvas de nivel de una franja de ancho mínimo de cien metros (100 m.) mostrando el alineamiento horizontal adoptado de los accesos.
- (b) Perfil longitudinal de los accesos.
- (c) Secciones transversales típicas en corte y relleno.
- (d) Memorias de cálculo de dimensiones y especificaciones técnicas de pavimentos, base, sub-base y superficie de rodadura.

## 2.7 — Estudios de tráfico

**2.7.1 Objetivo** — Cuando la magnitud o envergadura de la obra así lo requiera, será necesario efectuar los estudios de tráfico correspondientes a volumen y clasificación de tránsito en puntos establecidos, con el objetivo de determinar las características de la infraestructura vial y la superestructura del puente.

**2.7.2 Metodología** — La metodología a seguir será la siguiente:

- (a) **Conteo de tráfico** — Se definirán estaciones de conteo ubicadas en el área de influencia (indicando en un gráfico). Se colocará personal calificado, provisto de formatos de campo, donde anotarán la información acumulada por cada rango horario.
- (b) **Clasificación y tabulación de la información** — Se deberán adjuntar cuadros indicando el volumen y clasificación vehicular por estación.
- (c) **Análisis y consistencia de la información** — El conteo se llevará a cabo comparando con estadísticas existentes a fin de obtener los factores de corrección estacional para cada estación.
- (d) **Tráfico actual** — Se deberá obtener el Índice Medio Diario (I.M.D) de los conteos de volúmenes de tráfico y del factor de corrección determinado del análisis de consistencia.

**2.7.3 Documentación** — Los estudios deberán ser documentados mediante un informe que contendrá como mínimo lo siguiente:

- (a) Resultados de clasificación por tipo de vehículo para cada estación y por sentido.
- (b) Resultados de vehículos totales para cada estación y por sentido.
- (c) Índice Medio Diario (I.M.D) por estación y sentido.
- (d) Plano ubicando las estaciones de conteo e indicando cada sentido.
- (e) Conclusiones y recomendaciones

## 2.8 — Estudios de señalización

**2.8.1** En el proyecto geométrico deberán ser establecidas las medidas de señalización a ser tomadas durante las etapas de construcción y de servicio del puente, teniendo como referencia lo normado por la Dirección General de Caminos y COVIAL.

**2.8.2** Los elementos y detalles que componen la señalización del puente serán presentados en planos, estableciendo las dimensiones y secciones de refuerzo de los carteles y sus elementos de soporte, el material de construcción, pintado y las especificaciones especiales de construcción.

**2.8.3** Toda la señalización deberá estar de acuerdo al Manual Centroamericano de Seguridad Vial de SIECA 2008.

---

## FIN DEL CAPÍTULO 2

## CAPÍTULO 3 — PRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS

---

### 3.1 — Aspectos generales

**3.1.1** Los estudios de puentes se presentarán como una información aparte en el diseño de una carretera, con su respectiva escala mayor que la diferencia y las especificaciones que apliquen para cada caso.

**3.1.2** Para una carretera nueva se tendrán estructuras nuevas en la mayoría de situaciones o cuando se trate de una ampliación habrán reemplazos de estructuras o readecuaciones de las mismas, dependiendo de la carga y la ubicación del puente.

**3.1.3** La información requerida dependerá de la fase del proyecto que se esté trabajando y en tal sentido se pueden diferenciar de la siguiente forma:

(a) **Estudio Preliminar o Perfil del Proyecto** — Para esta fase no se requerirán planos, ya que solo se definirán las características principales del proyecto. Los temas que se desarrollarán en este estudio son:

- (i) Geomorfología del área de acuerdo a la Sección 2.4.1.
- (ii) Niveles de crecientes en el lugar en base a observaciones.
- (iii) Apreciaciones de especialistas que hayan visitado el lugar y puedan opinar sobre el mismo.
- (iv) Luces estimadas y protecciones necesarias para lograrlas.
- (v) Datos de experiencias y antecedentes de otros proyectos en el área.
- (vi) Imágenes satelitales del sitio y ubicaciones con GPS.
- (vii) Estadísticas viales de la carretera.
- (viii) Definir tipo y alcance de estudios necesarios para el proyecto.

(b) **Anteproyecto** — En esta fase se trabajarán los siguientes temas:

- (i) Datos del estudio general del trazado
- (ii) Estudios geológicos e hidráulicos en base a las recomendaciones de la fase anterior.
- (iii) Análisis aproximado de costos de cada alternativa para decidir la mejor opción para el proyecto.
- (iv) Definir las pautas principales de los estudios completos que se deberán realizar en la etapa final.

(c) **Estudio definitivo** — El estudio definitivo deberá realizarse desarrollando los siguientes temas en detalle:

- (i) Estudio topográfico.
- (ii) Definición de tipología estructural.
- (iii) Estudio de suelos.
- (iv) Estudio hidrológico.
- (v) Estudio de impacto ambiental.
- (vi) Estudio vial.
- (vii) Análisis estructural.
- (viii) Diseño estructural.
- (ix) Elaboración de planos.
- (x) Definición de especificaciones.
- (xi) Estudios complementarios dependiendo de lo especificado en el anteproyecto, tales como estudio geológico, estudios hidráulicos para obras de protección, definición de parámetros locales sísmicos, y demás.
- (xii) Estudio de riesgo de acuerdo con el Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes de SIECA 2010.

## 3.2 — Memoria descriptiva y justificación

**3.2.1** Se deberá presentar una memoria descriptiva del proyecto, la cual deberá identificar claramente los siguientes puntos:

(a) **Códigos usados en el diseño** — Se especificará toda la reglamentación utilizada para realizar el diseño, entre la cual se pueden incluir las siguientes:

- (i) AASHTO LRFD, para criterios de diseño del puente.
- (ii) AGIES NSE 5.2, Puentes de Tamaño y Altura Limitada, para criterios locales y de sismo.
- (iii) ACI, para puentes de concreto.
- (iv) AISC, para puentes de acero.
- (v) AWS, para detalles de soldadura
- (vi) ASTM, para materiales
- (vii) AISC, para cargas

(b) **Materiales utilizados en el proyecto** — Se detallarán las características de los materiales con los que se diseñarán los elementos estructurales del proyecto:

- (i)  $f'_c$  del concreto
- (ii)  $f_y$  del acero de refuerzo
- (iii)  $f_y$  del acero de pre-esfuerzo
- (iv)  $f_y$  del acero estructural

(c) **Especificaciones y notas técnicas** — En ellas se indicarán todas las especificaciones pertinentes, en función del material con que ha sido diseñado el puente:

- (i) Carga viva de diseño.
- (ii) Longitudes de desarrollo, ganchos, traslapes.
- (iii) Recubrimientos mínimos.
- (iv) Instrucciones para formaletas.
- (v) Juntas.
- (vi) Orden de tensado en vigas postensadas.
- (vii) Capacidad soporte del suelo.

(d) **Justificación técnica** — Deberá realizarse una justificación técnica del proyecto basada en todos los estudios de anteproyecto que incluyan aspectos técnicos, económicos y arquitectónicos.

(e) **Memoria de cálculo** — Deberá elaborarse una memoria de cálculo en donde se indiquen todas las solicitaciones de carga utilizadas, los desplazamientos revisados y los estados límites debidamente revisados. En ella se incluirá:

- (i) Esquema del sistema estructural utilizado indicando dimensiones, tipos de apoyo y cargas.
- (ii) Hipótesis de cálculo y métodos de verificación.
- (iii) Formulas aplicadas claramente indicadas y referencias bibliográficas precisas.
- (iv) Resultados acompañados de diagramas.
- (v) Normas de referencia en cada caso.
- (vi) Cuando el trabajo se hace con ayuda de software:
  - Programa utilizado y proveedor del mismo.
  - Datos de entrada.
  - Modelo estructural.
  - Propiedades de materiales y secciones utilizadas.
  - Condiciones de apoyo.
  - Cargas y combinaciones utilizadas.
  - Resultados parciales y totales para verificación del lector.

### 3.3 — Informes y documentos

**3.3.1** Todo proyecto deberá presentarse con su debida documentación, incluyendo la mayor información posible y siguiendo las siguientes pautas:

- (a) Todos los textos deberán entregarse en formato “.doc”.
- (b) Todas las tablas deberán realizarse en formato “.xls”.
- (c) Todos los planos deberán ser presentados en formato DWG, legibles en el programa Autocad más actualizado.
- (d) Deberá entregarse una versión completa digital del proyecto en formato PDF.
- (e) Los planos físicos deberán entregarse en formato A1. Para impresiones posteriores se usarán los formatos especificados:
  - A-1 594 x 841 mm
  - A-2 594 x 420 mm
  - A-3 420 x 297 mm
  - A-4 297 x 210 mm
- (f) Los planos deberán llevar su respectivo cajetín con toda la información posible para identificarlos plenamente durante el proceso de revisión, y posteriormente, construcción del puente. Se podrá tomar como referencia el cajetín de la Figura 3.3.1-1:

**Figura 3.3.1-1 — Cajetín de referencia para planos**

APROBADO		MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS REPUBLICA DE GUATEMALA, C.A.	
FECHA		PROYECTO: <b>CARRETERA CA-9 NORTE</b> TRAMO II: AGUA CALIENTE - SANARATE	
MODIFICACIONES		CONTIENEN: <b>INDICE</b> <b>PUENTE PUNTA GORDA</b>	
		REVISO: _____ ING. REVISOR D.G.C.	APROBO: _____ JEFE DEPTO. TECNICO DE INGENIERIA
		Vo. Bo. _____ DIVISION, PLANIFICACIÓN Y ESTUDIOS	EJECUTESE: _____ DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS
		DISEÑO: _____ GRUPO MURATORI	FECHA: FEBRERO 2,011 ESCALA: PLANTA: INDICADA PERFIL HOR.: INDICADA PERFIL VERT.: INDICADA
No.			HOJA No. <b>01 / 21</b>

**Comentario 3.3.1 f**

*Se podrá utilizar el cajetín autorizado por la institución o propietario del proyecto.*

- (g) Cada plano deberá ir firmado por el especialista involucrado, principalmente el Ingeniero Estructural responsable y los especialistas de suelos, hidrología e hidráulica en los planos donde aplique.
- (h) El listado mínimo de los planos a entregar se detalla a continuación:
  - (i) *Plano de planta + Elevación + Planta de excavación* — En este plano se mostrará la ubicación de la estructura del puente a construir; en planta, perfil y planta de excavación para las cimentaciones del puente. También se colocarán las estratigrafías y especificaciones de construcción, datos de la geometría de la carretera y resumen de materiales.
  - (ii) *Plano de Estribo de Entrada* — En este plano se mostrarán geometrías, armados y detalles de zapata, columnas de estribo, viga de apoyo y cortina.
  - (iii) *Plano de Estribo de Salida* — En este plano se mostrarán geometrías, armados y detalles de zapata, columnas de estribo, viga de apoyo y cortina.

- (iv) *Elevaciones de Estribos* — En este plano se mostrarán las geometrías de ambos estribos en elevación, así también armados y geometrías de aletones.
  - (v) *Plano de Pila Central* — En este plano se mostrarán geometrías, armados y detalles de zapata, columnas de pila y viga de apoyo.
  - (vi) *Plano de Superestructura* — En este plano se mostrará la geometría y armado de la superestructura, ubicación de postes, ubicación de vigas y ubicación de drenajes.
  - (vii) *Plano de Vigas Postensadas* — En este plano se mostrarán las geometrías en secciones y elevaciones, armados de las distintas parillas de la viga postensada y la ubicación de las coordenadas para ductos de torones de postensado.
  - (viii) *Plano de Apoyos* — En este plano se mostrará lo referente a apoyos elastoméricos, juntas de dilatación, topes sísmicos y detalles de drenajes.
  - (ix) *Plano de Barandal* — En este plano se mostrará la geometría y armado de aceras; geometría y armado de postes; y geometría y armado de barandal.
  - (x) *Plano de Remates de Barandal* — En este plano se ubican los remates de barandal respecto al puente, con sus respectivas geometrías y armados.
  - (xi) *Plano de Topografía Existente* — En este plano están la topografía existente junto con el eje de la carretera y con el perfil de terreno sin modificar. Se incluirán todas las obras de señalización referentes al puente.
- (i) Se deberá incluir una sección de anexos que incluya todo lo referente a permisos para la construcción del puente, copias de los estudios realizados en detalle y los cálculos de las obras conexas, como muros de contención, tuberías y demás que sean parte del proyecto.

### 3.4 — Presentación del proyecto

**3.4.1** El proyecto se presentará a la Autoridad Competente para su respectiva revisión en forma digital y en forma física, conforme a los estipulados en este capítulo.

**3.4.2** La documentación requerida en forma digital y física, será la siguiente:

- (a) Justificación del proyecto en base a análisis del perfil del mismo.
- (b) Memoria de cálculo completa con todos los requerimientos indicados en el capítulo anterior.
- (c) Juego de planos completo de la estructura del puente.
- (d) Anexo con todos los estudios realizados, así como los documentos legales relacionados con la construcción del puente.
- (e) Cálculos de obras conexas a la estructura a construir.

---

**FIN DEL CAPÍTULO 3**

## CAPÍTULO 4 — DISPOSICIONES Y RECOMENDACIONES DE CÁLCULO

---

### 4.1 — Alcances

**4.1.1** El presente capítulo especifica requisitos mínimos para cargas y fuerzas, sus límites de aplicación, factores de carga y combinaciones de cargas usadas para diseñar puentes nuevos. Los requisitos de carga también se podrán aplicar a la evaluación estructural de puentes existentes.

**4.1.2** En los casos en que se presentan múltiples niveles de comportamiento, la selección del nivel de comportamiento de diseño será responsabilidad del propietario.

**4.1.3** Se especifica un factor de carga mínimo para las sollicitaciones que se pueden desarrollar durante la etapa constructiva. También deben considerarse factores y cargas adicionales para la construcción de puentes de concreto y acero por etapas. Es importante tener como referencia las Especificaciones AASTHO LRFD 2013 si se necesitara alguna ampliación sobre la aplicación de una carga específica con respecto a lo expuesto en esta norma.

### 4.2 — Definiciones

- **Amortiguador** — Dispositivo que transfiere y reduce las fuerzas entre los elementos de la superestructura y/o entre la superestructura y elementos de la subestructura, permitiendo movimientos de origen térmico. El dispositivo provee amortiguación disipando energía bajo cargas sísmicas, cargas de frenado u otras cargas dinámicas.

- **Ancho de Calzada** — Espacio libre entre barreras y/o bordillos (mordientes).

- **Ángulo de Fricción de un Muro** — Ángulo cuya arco-tangente representa la fricción aparente entre un muro y una masa de suelo.

- **Barrera Estructuralmente Continua** — Barrera, o cualquier parte de la misma, que se interrumpe sólo en las juntas del tablero.

- **Berma** — Montículo usado para cambiar la dirección o disminuir la velocidad de vehículos o embarcaciones que chocan contra el mismo y para estabilizar terraplenes, taludes o suelos blandos.

- **Calado de Diseño** — Profundidad del agua correspondiente al nivel medio de aguas altas.
- **Carga** — Efecto de una aceleración, incluyendo la aceleración de la gravedad, causando una deformación impuesta o un cambio de volumen.
- **Carga Nominal** — Nivel de carga de diseño seleccionado arbitrariamente.
- **Cargas Permanentes** — Cargas y fuerzas que permanecen constantes una vez terminada la construcción, o bien aquellas que se supone permanecen constantes.
- **Carril de Diseño** — Carril de circulación ideal ubicado transversalmente sobre la carretera.
- **Sólidos en Arrastre** — Rocas y/o árboles resultantes de un flujo de agua turbulento.
- **Cuña de Suelo Activa** — Cuña de suelo que tiende a moverse si no es retenida por una estructura o componente.
- **Defensa** — Elemento de protección fijado al componente estructural a proteger o usado para delimitar canales o redirigir embarcaciones que se han salido de curso.
- **Distorsión** — Cambio de la geometría estructural.
- **Dolfin** — Elemento de protección que puede tener su propio sistema de defensa; generalmente es de planta circular y estructuralmente independiente del puente.
- **Empuje Activo de las Tierras** — Presión lateral resultante de la retención de suelo por parte de una estructura o componente que tiende a alejarse de la masa de suelo.
- **Empuje Pasivo de las Tierras** — Presión lateral debida a la resistencia que opone el suelo al movimiento lateral de una estructura o componentes hacia el interior de la masa de suelo.
- **Estabilidad Global** — Estabilidad de la totalidad del muro de sostenimiento o estructura del estribo; se determina evaluando potenciales superficies de deslizamiento ubicadas fuera de la estructura.

- **Expuesto** — Condición en la cual una parte de la subestructura o superestructura del puente está sujeta a contacto físico con cualquier parte de la proa, caseta de cubierta o mástil de una embarcación que colisiona con el puente.
- **Extremo** — Un máximo o un mínimo.
- **Fluido Equivalente** — Sustancia ideal cuya densidad es tal que, a los fines del cálculo, ejercería la misma presión que el suelo que reemplaza.
- **Fuerza Centrifuga** — Fuerza lateral provocada por un cambio de dirección del movimiento de un vehículo.
- **Global** — Correspondiente a la totalidad de la superestructura o a la totalidad del puente.
- **Incremento por Carga Dinámica** — Aumento de las solicitaciones estáticas aplicadas que toma en cuenta la interacción dinámica entre el puente y los vehículos en movimiento.
- **Índice de Confiabilidad** — Valoración cuantitativa de la seguridad, expresada como la relación de la diferencia entre la resistencia media y la solicitación media sobre la desviación estándar combinada de la resistencia y la solicitación.
- **Ley de Momentos** — Sumatoria estática de los momentos respecto de un punto para calcular la reacción en un segundo punto.
- **Licuefacción** — Pérdida de resistencia al corte de un suelo saturado debida al exceso de presión hidrostática. En suelos no cohesivos saturados, esta pérdida de resistencia puede ser el resultado de cargas aplicadas de manera instantánea o cíclica, particularmente en arenas finas y medianas poco compactas de granulometría uniforme.
- **Línea de Ruedas** — Agrupación de ruedas en forma transversal o longitudinal.
- **Local** — Correspondiente a un componente o a un subconjunto de componentes.
- **Megagramo (Mg)** — 1000 kg (una unidad de masa).
- **Modo de Vibración** — Forma de deformación dinámica asociada con una frecuencia de vibración.

- **Relación de Sobreconsolidación (OCR)** — Relación entre la máxima presión de preconsolidación y la presión provocada por la sobrecarga del suelo.
- **Rueda** — Neumático simple o dual ubicado en el extremo de un eje.
- **Sistema de Ejes** — Eje simple o eje tandem.
- **Sobrecarga de Suelo** — Carga usada para modelar el peso del relleno u otras cargas aplicadas a la parte superior del material retenido.
- **Sub-estructura** — Componentes estructurales del puente que soportan el tramo horizontal.
- **Suelo Normalmente Consolidado** — Suelo en el cual la presión efectiva provocada por la sobrecarga actual es igual a la máxima presión que ha experimentado.
- **Suelo Sobreconsolidado** — Suelo que ha sido sometido a una presión mayor que la que actualmente existe.
- **Sujetadores** — Sistema de cables o varillas de alta resistencia que transfiere fuerzas entre elementos de la superestructura y/o entre la superestructura y elementos de la subestructura bajo cargas sísmicas u otras cargas dinámicas luego de contrarrestar un relajamiento inicial, a la vez que permite movimientos de origen térmico.
- **Superestructura** — Componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal.
- **Superficie de Influencia** — Función continua o discretizada sobre el tablero de un puente cuyo valor en un punto, multiplicado por una carga actuando perpendicularmente al tablero en dicho punto, permite obtener la sollicitación deseada.
- **Tandem** — Dos ejes poco separados generalmente conectados a un mismo carro inferior, que ayuda a distribuir la carga de manera equitativa entre ambos ejes.
- **Temperatura de Fraguado** — Temperatura media de una estructura que se utiliza para determinar las dimensiones de una estructura cuando se añade o coloca un componente.

- **Unidad de Transmisión de Impacto (STU, Shock Transmission Unit) —** Dispositivo que proporciona una unión rígida temporaria entre elementos de la superestructura y/o entre la superestructura y elementos de la subestructura bajo cargas sísmicas, de frenado u otras cargas dinámicas, a la vez que permite movimientos de origen térmico.
- **Vehículo de Circulación Restringida —** Vehículo cuya circulación está restringida por disposiciones administrativas debido a su peso o tamaño.
- **Vía de Gran Calado —** Vía navegable usada por embarcaciones mercantes con un calado máximo de 4200 a 18000 mm.
- **Vía de Poco Calado —** Vía navegable usada fundamentalmente por embarcaciones tipo barcaza con un calado máximo menor que 2700 a 3000 mm.
- **Vía Navegable —** Curso de agua que la Marina de Guatemala ha determinado apto para el comercio nacional o internacional.
- **Vibración Aeroelástica —** Respuesta elástica periódica de una estructura frente al viento.

## 4.3 — Tipos de carga

**4.3.1 — Cargas y denominación de las cargas:** Se deberán considerar las siguientes cargas y fuerzas permanentes y transitorias:

### (a) Cargas Permanentes

- **DD** — Fricción negativa (downdrag).
- **DC** — Peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales.
- **DW** — Peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos.
- **EH** — Empuje horizontal del suelo.
- **EL** — Tensiones residuales acumuladas resultantes del proceso constructivo, incluyendo las fuerzas secundarias del postensado.
- **ES** — Sobrecarga de suelo.
- **EV** — Presión vertical del peso propio del suelo de relleno.

**(b) Cargas Transitorias**

- EQ — Sismo.
- FR — Fricción.
- CS — Carga de sólidos en flujo turbulento (rocas y árboles).
- IM — Impacto: Incremento por carga vehicular dinámica.
- LL — Sobrecarga vehicular dinámica.
- LS — Sobrecarga viva.
- PL — Sobrecarga peatonal.
- SE — Asentamiento.
- SH — Contracción.
- TG — Gradiente de temperatura.
- TU — Temperatura uniforme.
- WA — Carga hidráulica y presión del flujo de agua.
- WL — Viento sobre la sobrecarga.
- WS — Viento sobre la estructura.
- BR — Fuerza de frenado de los vehículos.
- CE — Fuerza centrífuga de los vehículos.
- CR — Fluencia lenta (creep).
- CT — Fuerza de colisión de un vehículo.
- CV — Fuerza de colisión de una embarcación.

**4.4 — Factores de carga y combinaciones de carga**

**4.4.1** Los factores de carga que definen la metodología LRFD y sus combinaciones serán necesarios para establecer la carga mayorada resultante que se generará para un proyecto específico de puente y que se utilizará para diseñar los diferentes elementos que conforman la estructura de un puente de acuerdo al material y tipología de puente definida.

**Comentario 4.4.1**

*Es importante entender la fórmula general ya que la metodología de diseño lleva a los diferentes materiales a un estado de esfuerzos límite, los cuales se detallan en la Sección 4.4.2 de esta norma. La aplicación de cargas y el análisis estructural basado en las diferentes combinaciones de carga son fundamentales previo a dar paso a la fase de diseño.*

**4.4.2 — Fórmula general con factores de carga**

(a) La solicitación de carga mayorada total se tomará de la siguiente manera:

$$Q = \sum \eta_i * \gamma_i * Q_i \quad (4.4.2-1)$$

Donde:

- $\eta_i$  es el modificador de las cargas cuyo valor debe ser mayor o igual a 0.95
- $Q_i$  son solicitaciones de las cargas aquí especificadas
- $\gamma_i$  son factores de carga especificados en las Tablas 4.4.4-1 y 4.4.4-2

$$\eta_i = \eta_D * \eta_R * \eta_l \quad (4.4.2-2)$$

Donde:

- $\eta_D$  es el factor modificador de ductilidad que debe ser mayor o igual 0.95 y cuyo valor utilizado para el caso de los requisitos de diseño de esta norma es 1.00. Si el detallado de ductilidad es de menor rigurosidad a lo que exige esta norma o se tienen puntos de conexión entre elementos de tipo no dúctil, se deberá usar un valor mayor o igual a 1.05. Si se tiene un nivel de ductilidad comprobado mayor a lo especificado en esta norma, úsese un valor de 0.95.
- $\eta_R$  es el factor modificador de redundancia que debe ser mayor o igual a 0.95 y cuyo valor utilizado para el caso de los requisitos de diseño de esta norma es 1.00. Para elementos sin redundancia deberá usarse un valor de 1.05. Si la forma y tipología estructural definida tiene un valor de redundancia excepcional como vigas continuas y/o elementos con mayor capacidad a torsión como secciones transversales cerradas, podrá usarse un valor de 0.95.
- $\eta_I$  es el factor de importancia que se define para un puente y que debe ser mayor o igual a 0.95 y cuyo valor utilizado para puentes ordinarios y típicos es 1.00. Si el puente clasifica como un puente crítico y/o esencial deberá usarse un valor de 1.05. En caso sean puentes de menor importancia, sustituibles y/o de menor tráfico podrá usarse un valor de 0.95.

(b) Al ser relacionada con la resistencia de la estructura, la ecuación mayorada quedará definida de la siguiente manera:

$$\sum \eta_i * \gamma_i * Q_i = \sum \phi R = R_r \quad (4.4.2-3)$$

Donde:

- $\phi$  es el valor que multiplica la resistencia en el límite del material que se está diseñando y que se relaciona con la incertidumbre del comportamiento homogéneo del material en la condición específica del elemento.
- $R$  es el valor de la resistencia al límite del material del elemento que se esté diseñando para una condición de esfuerzo que se esté revisando.
- $R_r$  es el valor de la resistencia al límite del esfuerzo del material que se esté diseñando ya considerando la incertidumbre del tipo de material y la condición de esfuerzos específica del elemento que se esté diseñando.

#### 4.4.3 — Estados límites de carga

(a) **Resistencia I** – Combinación de cargas básica que representa el uso vehicular normal del puente, sin viento.

(b) **Resistencia II** – Combinación de cargas que representa el uso del puente por parte de vehículos de diseño especiales especificados por la Autoridad Competente, vehículos de circulación restringida, o ambos, sin viento.

(c) **Resistencia III** – Combinación de cargas que representa el puente expuesto a vientos de velocidades superiores a 90 km/h.

- (d) **Resistencia IV** – Combinación de cargas que representa relaciones muy elevadas entre las solicitaciones provocadas por las cargas permanentes y las provocadas por las sobrecargas.
- (e) **Resistencia V** – Combinación de cargas que representa el uso del puente por parte de vehículos normales con una velocidad del viento de 90 km/h.
- (f) **Evento Extremo I** – Combinación de cargas que incluye sismos.
- (g) **Evento Extremo II** – Combinación de cargas que incluye carga sólidos en suspensión, colisión de embarcaciones y vehículos, y ciertos eventos hidráulicos con una sobrecarga reducida diferente a la que forma parte de la carga de colisión de vehículos, CT.
- (h) **Servicio I** – Combinación de cargas que representa la operación normal del puente con un viento de 90 km/h, tomando todas las cargas a sus valores nominales. También se relaciona con el control de las deflexiones de las estructuras metálicas enterradas, revestimientos de túneles y tuberías termoplásticas y con el control del ancho de fisuración de las estructuras de concreto armado. Esta combinación de cargas también se debería utilizar para investigar la estabilidad de taludes.
- (i) **Servicio II** – Combinación de cargas cuya intención es controlar la fluencia de las estructuras de acero y el resbalamiento que provoca la sobrecarga vehicular en las conexiones de resbalamiento crítico.
- (j) **Servicio III** – Combinación de cargas relacionada exclusivamente con la tracción en superestructuras de hormigón pretensado, cuyo objetivo es controlar la fisuración.
- (k) **Servicio IV** – Combinación de cargas relacionada exclusivamente con la tracción en subestructuras de hormigón pretensado, cuyo objetivo es controlar la figuración.
- (l) **Fatiga** – Combinación de cargas de fatiga y fractura que se relacionan con la sobrecarga gravitatoria vehicular repetitiva y las respuestas dinámicas bajo un único camión de diseño. En la Tabla 4.4.4-1 se especifican los factores de carga que se deben aplicar para las diferentes cargas que componen una combinación de cargas de diseño.

**4.4.4 — Definición de factores de carga y combinaciones:** Para la determinación de la demanda de cargas de la estructura se deberán realizar las siguientes combinaciones de carga con los factores que se muestran en las Tablas 4.4.4-1 y 4.4.4-2.

**Tabla 4.4.4-1 — Combinaciones de Cargas y Factores de Carga**

Combinación de cargas	DC	Usar solo uno por ves																
	DD LL	DW IM	EH CE	EV BR	ES PL	EL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR	SH	TG	SE	EQ	IC	CT	CV
RESISTENCIA I (a menos que se especifique lo contrario)	$y_p$	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA II	$y_p$	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA III	$y_p$	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA IV - Sólo EH, EV, ES, DW, DC	$y_p$ 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA V	$y_p$	1.35	1.00	0.40	1.00	1.00	0.50/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EVENTO EXTREMO I	$y_p$	$y_{EQ}$	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
EVENTO EXTREMO II	$y_p$	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	$y_{TG}$	$y_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SERVICIO IV	1.00	-	1.00	0.70	-	1.00	1.00/1.20	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FATIGA - Sólo LL, IM y CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla 4.4.4-2 — Factores de carga para cargas permanentes,  $\gamma_p$** 

Tipo de carga	Factor de Carga	
	Máximo	Mínimo
DC: Elemento y accesorios	1.25	0.90
DD: Fricción negativa (downdrag)	1.80	0.45
DW: Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos	1.50	0.65
EH: Empuje horizontal del suelo		
• Activo	1.50	0.90
• En reposo	1.35	0.90
EL: Tensiones residuales de montaje	1.00	1.00
EV: Empuje vertical del suelo		
• Estabilidad global	1.00	N/A
• Muros de sostenimiento y estribos	1.35	1.00
• Estructura rígida enterrada	1.30	0.90
• Marcos rígidos	1.35	0.90
• Estructuras flexibles enterradas u otras, excepto alcantarillas metálicas rectangulares	1.95	0.90
• Alcantarillas metálicas rectangulares flexibles	1.50	0.90
ES: Sobrecarga de suelo	1.50	0.75

#### 4.4.5 — Factores de carga para cargas durante el proceso de construcción

(a) Los factores de carga para el peso de la estructura y sus accesorios no se deberán tomar menores que 1.25.

(b) A menos que la Autoridad Competente especifique lo contrario, el factor de carga para las cargas constructivas, para los equipos y para los efectos dinámicos no deberá ser menor que 1.50. El factor de carga para viento no deberá ser menor que 1.25. El resto de factores de carga se deberán tomar igual a 1.00.

#### 4.4.6 — Factores de carga para fuerzas de tensado y postensado

(a) *Fuerzas de Pretensado*

(i) A menos que el propietario especifique lo contrario, las fuerzas de diseño para tensado en servicio no deberán ser menores que 1.30 veces la reacción a la carga permanente en el apoyo, adyacente al punto de tensado.

(ii) Si el puente no estará cerrado al tráfico durante la operación de tensado, la carga de tensado también deberá incluir una reacción a la sobrecarga consistente con el mantenimiento del plan de tráfico, multiplicada por el factor de carga correspondiente a sobrecarga.

(b) *Fuerza para las zonas de anclaje de postensado* — La fuerza de diseño para las zonas de anclaje de postensado se deberá tomar como 1.20 veces la máxima fuerza de tensado.

## 4.5 — Definición de cargas permanentes

### 4.5.1 — Cargas permanentes: DC, DW y EV

(a) La carga permanente deberá incluir el peso propio de todos los componentes de la estructura, accesorios e instalaciones de servicio unidas a la misma, superficie de rodamiento, futuras sobre-capas y ensanchamientos previstos.

(b) En ausencia de información más precisa, para las cargas permanentes se podrán utilizar las densidades especificadas en la Tabla 4.5.1-1.

**Tabla 4.5.1-1 — Densidades de materiales**

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
Aleaciones de aluminio	2800	
Superficies de rodamiento bituminosas	2250	
Hierro fundido	7200	
Escoria	960	
Arena, limo o arcilla compactados	1925	
Hormigón	Agregados de baja densidad	1775
	Agregados de baja densidad y arena	1925
	Densidad normal con $f'_c \leq 35$ MPa	2320
	Densidad normal con $35 < f'_c \leq 105$ MPa	$2240 + 2.29 f'_c$
Arena, limo o grava sueltos	1600	
Arcilla blanda	1600	
Grava, macadán o balasto compactado con rodillo	2250	
Acero	7850	
Sillería	2725	

**Tabla 4.5.1-1 — Densidades de materiales *-(continuación)-***

Elemento		Masa por unidad de longitud (Kg/mm)
Madera	Dura	960
	Blanda	800
Agua	Dulce	1000
	Salada	1025
Rieles para tránsito, durmientes y fijadores por vía		0.30

**4.5.2 Cargas de Suelo: EH, ES, LS y DD** — Las cargas correspondientes a empuje del suelo, sobrecarga de suelo y fricción negativa se exponen en detalle en la Sección 4.7 de esta norma.

## 4.6 — Definición de cargas vivas (transitorias)

### 4.6.1 — Sobrecarga vehicular LL

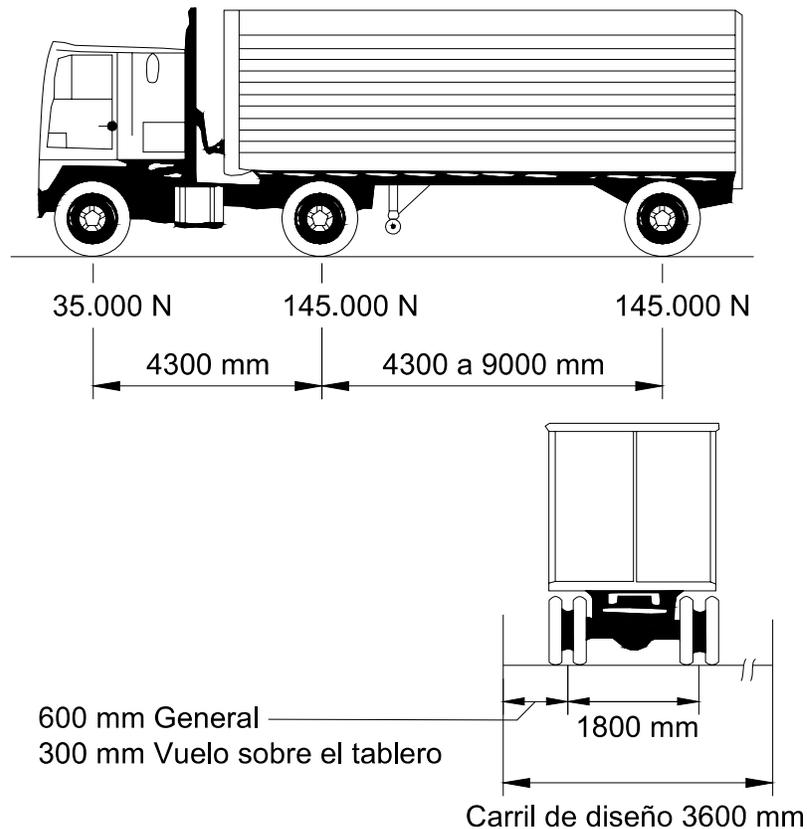
#### (a) Requisitos generales

- (i) La sobrecarga vehicular sobre las calzadas de puentes o estructuras incidentales, designada como HL-93, deberá consistir en una combinación de:
  - Camión de diseño o tándem de diseño
  - Carga de carril de diseño
- (ii) Cada carril de diseño considerado deberá estar ocupado ya sea por el camión de diseño o bien por el tándem de diseño, en coincidencia con la carga del carril, cuando corresponda.
- (iii) Se asumirá que las cargas ocupan 3000 mm transversalmente dentro de un carril de diseño.

#### (b) Camión de Diseño

- (i) Los pesos y las separaciones entre los ejes y las ruedas del camión de diseño serán como se especifica en la Figura 4.6.1.2-1. Se deberá considerar un incremento por carga dinámica.
- (ii) La separación entre los dos ejes de 145,000N (145kN) se deberá variar entre 4300 y 9000 mm para producir las sollicitaciones extremas.

Figura 4.6.1-1 — Características del camión de diseño



## (c) Tándem de diseño

- (i) El tándem de diseño consistirá en un par de ejes de 110.000 N con una separación de 1200 mm.
- (ii) La separación transversal de las ruedas se deberá tomar como 1800 mm.
- (iii) Se deberá considerar un incremento por carga dinámica según lo especificado en la Sección 4.6.6.

## (d) Carga del carril de diseño

- (i) La carga del carril de diseño consistirá en una carga de 9.3 N/mm (9.3 kN/m), uniformemente distribuida en dirección longitudinal.

- (ii) Transversalmente la carga del carril de diseño se supondrá uniformemente distribuida en un ancho de 3000 mm.
- (iii) Las solicitaciones debidas a la carga del carril de diseño no estarán sujetas a un incremento por carga dinámica.

(e) Área de contacto de los neumáticos

- (i) El área de contacto de los neumáticos de una rueda compuesta por uno o dos neumáticos se deberá considerar como un único rectángulo de 510 mm de ancho y 250 mm de longitud.
- (ii) Se supondrá que la presión de los neumáticos se distribuye uniformemente sobre el área de contacto. Se supondrá que la presión de los neumáticos se distribuye de la siguiente manera:
  - En superficies continuas, uniformemente sobre el área de contacto especificada, y
  - En superficies discontinuas, uniformemente sobre el área de contacto real dentro de la huella, aumentando la presión en función de la relación entre el área de contacto especificada y la real.
- (iii) Para otros camiones de diseño, el área de contacto de los neumáticos se podrá calcular a partir de las dimensiones mostradas en las Ecuaciones 4.6.1-1 y 4.6.1-2.

$$\text{Ancho del neumático} = \frac{P}{142} \quad (4.6.1-1)$$

$$\text{Longitud del neumático} = 165\gamma \left(1 + \frac{IM}{100}\right) \quad (4.6.1-2)$$

(f) Distribución de las cargas de rueda a través de suelos de relleno

- (i) Si la profundidad del relleno es menor que 600 mm, se despreciará el efecto del relleno sobre la distribución de la sobrecarga. La distribución de la sobrecarga para la parte superior de alcantarillas se podrá basar en los requisitos para losas de tablero paralelas al tráfico.

- (ii) En lugar de realizar un análisis más preciso o utilizar otros métodos aproximados de distribución de cargas aceptables, si la profundidad del relleno es mayor que 600 mm, se podrá considerar que las cargas de las ruedas están uniformemente distribuidas en un área rectangular cuyos lados son iguales a la dimensión del área de contacto de los neumáticos más 1.15 veces la profundidad del relleno en el caso de rellenos granulares seleccionados, o la profundidad del relleno en todos los demás casos.
  - (iii) Si las áreas de varias ruedas se superponen, la carga total se deberá distribuir uniformemente en el área.
  - (iv) Para las alcantarillas de un solo tramo, los efectos de la sobrecarga se podrán despreciar si la profundidad del relleno es mayor que 2400 mm y mayor que la longitud del tramo; para las alcantarillas de múltiples tramos estos efectos se podrán despreciar si la profundidad del relleno es mayor que la distancia entre las caras de los muros extremos.
  - (v) Si en una losa de concreto el momento debido a la sobrecarga y carga de impacto calculado en base a la distribución de la carga de las ruedas a través del relleno es mayor que el momento debido a la sobrecarga y carga de impacto, se deberá usar este último momento.
- (g) **Número de carriles de diseño**
- (i) El número de carriles de diseño se deberá determinar tomando la parte entera de la relación  $w/3600$ , siendo  $w$  el ancho libre de calzada entre cordones y/o barreras, en mm. También se deberá considerar posibles cambios futuros en las características físicas o funcionales del ancho libre de calzada.
  - (ii) En aquellos casos en los cuales los carriles de circulación tengan menos de 3600 mm de ancho, el número de carriles de diseño deberá ser igual al número de carriles de circulación, y el ancho del carril de diseño se deberá tomar igual al ancho del carril de circulación.
  - (iii) Los anchos de calzada comprendidos entre 6000 y 7200 mm deberán tener dos carriles de diseño, cada uno de ellos de ancho igual a la mitad del ancho de calzada.
- (h) **Presencia de múltiples sobrecargas**
- (i) Los requisitos de este artículo no se aplicarán al estado límite de fatiga para el cual se utiliza un camión de diseño, independientemente del número de carriles de diseño. Si en lugar de emplear la ley de momentos y el método estático se utilizan los factores de distribución

aproximados para carril único de las secciones en donde se definen las fórmulas para distribuir las cargas de neumático sobre las vigas y otros elementos de tablero, las solicitaciones se deberán dividir por 1.20.

- (ii) A menos que en esta norma se especifique lo contrario, la solicitación extrema correspondiente a sobrecarga se deberá determinar considerando cada una de las posibles combinaciones de número de carriles cargados, multiplicando por un factor de presencia múltiple correspondiente, para tomar en cuenta la probabilidad de que los carriles estén ocupados simultáneamente por la totalidad de la sobrecarga de diseño HL93. En ausencia de datos específicos del predio, los valores de la Tabla 4.6.1-1:
- Se deberán utilizar al investigar el efecto de un carril cargado.
  - Se podrán utilizar al investigar el efecto de tres o más carriles cargados.
- (iii) Con el objetivo de determinar el número de carriles cuando la condición de carga incluye las cargas peatonales combinadas con uno o más carriles con la sobrecarga vehicular, las cargas peatonales se podrán considerar como un carril cargado.
- (iv) Los factores especificados en la Tabla 4.6.1-1 no se deberán aplicar conjuntamente con los factores de distribución de carga aproximados, excepto si se aplica la ley de momentos o si se utilizan requisitos especiales para vigas exteriores en puentes de vigas y losas.

**Tabla 4.6.1-1 — Factor de presencia múltiple (m)**

Número de carriles cargados	Factor de presencia múltiple (m)
1	1.20
2	1.00
3	0.85
> 3	0.65

**Comentario 4.6.1 g**

Por ejemplo, si un elemento soporta una acera y un carril de sobrecarga vehicular, el elemento se deberá investigar para la sobrecarga vehicular solamente con  $m = 1.20$  y para las cargas peatonales combinadas con la sobrecarga vehicular con  $m = 1.0$ . Si un elemento soporta una acera y dos carriles de sobrecarga vehicular, el elemento se deberá investigar para las siguientes condiciones:

- Un carril de sobrecarga vehicular,  $m = 1.20$ ;
- El mayor valor entre los carriles más significativos de sobrecarga vehicular y las cargas peatonales o dos carriles de sobrecarga vehicular, aplicando  $m = 1.0$  al caso determinante; y
- Dos carriles de sobrecarga vehicular más las cargas peatonales,  $m = 0.85$ . El factor de presencia múltiple  $m = 1.20$  para un único carril no se aplicará a las cargas peatonales. Por lo tanto, el caso de las cargas peatonales sin la sobrecarga vehicular es un subconjunto del segundo ítem de esta lista. Los factores de presencia múltiple fueron desarrollados en base a un ADTT de 5000 camiones en una dirección. En sitios con menor ADTT la sollicitación resultante de considerar el número adecuado de carriles se podrá reducir de la siguiente manera:
  - Si  $100 \leq ADTT \leq 1000$  se podrá utilizar el 95 por ciento de la sollicitación especificada; y
  - Si  $ADTT < 100$  se podrá utilizar el 90 por ciento de la sollicitación especificada. Este ajuste se basa en la reducida probabilidad de que se produzca el evento de diseño durante un período de diseño de 75 años si el volumen de camiones es reducido.

**4.6.2 — Aplicación de la sobrecarga vehicular de diseño****4.6.2.1 — Requisitos generales**

(a) A menos que se especifique lo contrario, la sollicitación extrema se deberá tomar como el mayor de los siguientes valores:

- (i) La sollicitación debida al tándem de diseño combinada con la sollicitación debida a la carga del carril de diseño
- (ii) La sollicitación debida a un camión de diseño con la separación variable entre combinada con la sollicitación debida a la carga del carril de diseño
- (iii) Tanto para momento negativo entre puntos de contraflexión bajo una carga uniforme en todos los tramos, como para reacción en pilas interiores solamente, 90 por ciento de la sollicitación debida a dos camiones de diseño separados como mínimo 15000 mm entre el eje delantero de un camión y el eje trasero del otro, combinada con 90 por ciento de la sollicitación debida a la carga del carril de diseño. Tomando en cuenta lo siguiente:
  - La distancia entre los ejes de 145000 N de cada camión se deberá tomar como 4300 mm.
  - Los ejes que no contribuyan a la sollicitación extrema considerada se deberán despreciar.

- Tanto los carriles de diseño como el ancho cargado de 3000 mm en cada carril se deberán ubicar de manera que produzcan solicitaciones extremas.
- El camión o tándem de diseño se deberá ubicar transversalmente de manera que ninguno de los centros de las cargas de rueda esté a menos de:
  - Para el diseño del vuelo del tablero: 300 mm a partir de la cara del cordón o baranda.
  - Para el diseño de todos los demás componentes: 600 mm a partir del borde del carril de diseño.

(b) A menos que se especifique lo contrario, las longitudes de los carriles de diseño o de las partes de los carriles de diseño que contribuyen a la solicitación extrema bajo consideración se deberán cargar con la carga del carril de diseño.

#### 4.6.2.2 — *Carga para la evaluación opcional de la deflexión por sobrecarga*

(a) Si el propietario solicita una revisión de la deflexión, se deberá tomar la revisión como el mayor de los siguientes valores:

- (i) La deflexión debida al camión de diseño solamente, o
- (ii) La deflexión debida al 25 por ciento del camión de diseño considerado juntamente con la carga del carril de diseño.

#### 4.6.2.3 — *Cargas de diseño para tableros, sistemas de tableros y losas superiores de alcantarillas rectangulares*

(a) Los requisitos de la presente sección no se aplican a los tableros diseñados bajo los requisitos del Método de Diseño Empírico.

(b) Si para analizar tableros y losas superiores de alcantarillas rectangulares se utiliza el método aproximado de las fajas, las solicitaciones se deberán determinar en base a lo siguiente:

- (i) Si las fajas primarias son transversales y su longitud es menor o igual que 4600 mm, las fajas transversales se deberán diseñar para las ruedas del eje de 145,000 N.
- (ii) Si las fajas primarias son transversales y su longitud es mayor que 4600 mm, las fajas transversales se deberán diseñar para las ruedas del eje de 145,000 N y la carga del carril.

- (iii) Si las fajas primarias son longitudinales, las fajas longitudinales se deberán diseñar para todas las cargas vivas vehiculares especificadas en esta norma, incluyendo la carga del carril.
- (c) Si se utilizan los métodos refinados se deberán considerar todas las cargas vivas vehiculares especificadas en esta norma, incluyendo la carga del carril.
- (d) Los sistemas de tablero, incluidos los puentes tipo losa, se deberán diseñar para todas las cargas vivas vehiculares especificadas en esta norma, incluyendo la carga del carril.
- (e) Se deberá asumir que las cargas de las ruedas de un eje son iguales; para el diseño de tableros no será necesario considerar la amplificación de las cargas de las ruedas debida a las fuerzas centrífugas y de frenado.

#### 4.6.2.4 — *Carga para el voladizo de la losa*

- (a) Para el diseño de voladizo de la losa, si la distancia entre el eje de la viga exterior y la cara de una baranda de hormigón estructuralmente continua es menor o igual que 1800 mm, la fila exterior de cargas de rueda se podrá reemplazar por una carga lineal uniformemente distribuida de 14.6 N/mm (14.6 kN/m) ubicada a 300 mm (0.30 m) de la cara de la baranda.
- (b) Las cargas horizontales que actúan sobre el voladizo cuando un vehículo colisiona contra las barreras deberán satisfacer los requisitos que esta norma disponga o referirse a las disposiciones de las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

### 4.6.3 — Carga de fatiga

#### (a) Magnitud y configuración

- (i) La carga de fatiga será un camión de diseño especificado en AASHTO LFRD 2013 o los ejes del mismo, pero con una separación constante de 9000mm (9 m) entre los ejes de 145,000N (145 kN).
- (ii) A la carga de fatiga se le deberá aplicar el incremento por carga dinámica especificado en AASHTO LFRD 2013 para este análisis específico.

#### (b) Frecuencia

- (i) La frecuencia de la carga de fatiga se deberá tomar como el tráfico medio diario de camiones en un único carril (ADTTSL). Esta frecuencia se deberá aplicar a todos los componentes del puente, inclusive a aquellos ubicados debajo de carriles que soportan un menor número de camiones.
- (ii) En ausencia de información más precisa, el tráfico medio diario de camiones en un único carril se tomará como:

$$ADTTSL = p * ADTT \quad (4.6.3-1)$$

Donde:

- **ADTT** es el número de camiones por día en una dirección, promediado sobre el período de diseño
- **ADTTSL** es el número de camiones por día en un único carril, promediado sobre el período de diseño
- **p** es el valor especificado en la Tabla 4.6.3-1

**Tabla 4.6.3-1 — Fracción de tráfico de camiones en un único carril, p**

Número de carriles disponibles para camiones	<i>p</i>
1	1.00
2	0.85
3 o más	0.80

**(c) Distribución de cargas para fatiga**

- (i) **Métodos Refinados** — Si el puente se analiza utilizando algún método refinado, como se especifica en las Especificaciones AASHTO LFRD 2013, se deberá ubicar un único camión de diseño transversal y longitudinalmente, de manera de maximizar el rango de tensiones en el detalle considerado, independientemente de la posición sobre el tablero de los carriles de circulación o de diseño.
- (ii) **Métodos Aproximados** — Si el puente se analiza utilizando una distribución de cargas aproximada, como se especifica en las Especificaciones AASHTO LRFD 2013, se deberá utilizar el factor de distribución para un carril de circulación.

**4.6.4 Cargas de tránsito ferroviario** — Si un puente también transporta vehículos que transitan sobre rieles, el propietario deberá especificar las características de la carga ferroviaria que transitará sobre el puente y la interacción que se anticipa entre el tránsito sobre rieles y el tráfico carretero.

**4.6.5 — Cargas peatonales**

- (a) Se deberá aplicar una carga peatonal de  $3.6 \times 10^{-3}$  MPa ( $3.6 \text{ KN/m}^2$ ) en todas las aceras de más de 600 mm de ancho, y esta carga se deberá considerar simultáneamente con la sobrecarga vehicular de diseño.
- (b) Los puentes exclusivamente para tráfico peatonal y/o ciclista se deberán diseñar para una sobrecarga de  $4.1 \times 10^{-3}$  MPa ( $4.1 \text{ kN/m}^2$ ).
- (c) Si las aceras, puentes peatonales o puentes para ciclistas también han de ser utilizados por vehículos de mantenimiento y/u otros vehículos, estas cargas se deberán considerar en el diseño. Para estos vehículos no es necesario considerar el incremento por carga dinámica.

**4.6.6 — Incremento por carga dinámica: IM****(a) Requisitos generales**

- (i) Los efectos estáticos del camión o tándem de diseño, a excepción de las fuerzas centrífugas y de frenado, se deberán mayorar aplicando los porcentajes indicados en la Tabla 4.6.6-1 (incremento por carga dinámica).
- (ii) El factor a aplicar a la carga estática se deberá tomar como  $(1 + IM/100)$ .

- (iii) El incremento por carga dinámica no se aplicará a las cargas peatonales ni a la carga del carril de diseño.

**Tabla 4.6.6-1 — Incremento por carga dinámica, IM**

Componente	IM
Juntas del tablero - Todos los estados límites	75%
Todos los demás componentes	
• Estado límite de fatiga y fractura	15%
• Todos los demás estados límites	33%

- (iv) La aplicación del incremento por carga dinámica para componentes enterrados, será tratada como lo especifica AASTHO LFRD 2013.

- (v) No será necesario aplicar el incremento por carga dinámica a:

- Muros de sostenimiento no solicitados por reacciones verticales de la superestructura.
- Componentes de las fundaciones que estén completamente por debajo del nivel del terreno.
- El incremento por carga dinámica se podrá reducir para algunos componentes, excepto las juntas, si hay evidencia suficiente que justifique esta reducción.

- (b) *Componentes enterrados:* El incremento por carga dinámica para alcantarillas y otras estructuras enterradas, en porcentaje, se deberá tomar como:

$$IM = 33 (1.0 - 4.1 \times 10^{-4} * D_E) \geq 0\% \quad (4.6.6-1)$$

Donde:

- $D_E$  es la profundidad mínima de la cubierta de tierra sobre la estructura (mm)

- (c) *Componentes de madera:* No será necesario aplicar el incremento por carga dinámica a los componentes de madera.

#### 4.6.7 — Fuerzas centrífugas: CE

- (a) Las fuerzas centrífugas se deberán tomar como el producto entre los pesos por eje del camión o tándem de diseño y el factor C de la Ecuación 4.6.7-1.

$$C = \frac{4v^2}{3gR} \quad (4.6.7-1)$$

Donde:

- **v** es la velocidad de diseño de la carretera (m/s)
- **g** es la aceleración de la gravedad: 9,807 (m/s<sup>2</sup>)
- **R** es el radio de curvatura del carril de circulación (m)

(b) Para la velocidad de diseño de la carretera se deberá tomar el valor que se haya especificado para la vía que circula a través del puente. Se deberán aplicar los factores de presencia múltiple *m* especificados.

(c) Las fuerzas centrífugas se deberán aplicar horizontalmente a una distancia de 1800 mm sobre la superficie de la calzada.

#### 4.6.8 — Fuerza de frenado: *BR*

(a) La fuerza de frenado se deberá tomar como el mayor de los siguientes valores:

- (i) 25 por ciento (25%) de los pesos por eje del camión de diseño, o tándem de diseño.
- (ii) 5 por ciento (5%) del camión de diseño más la carga del carril o 5 por ciento (5%) del tándem de diseño más la carga del carril.

(b) La fuerza de frenado se deberá ubicar en todos los carriles de diseño que se consideran cargados de acuerdo con las Especificaciones AASHTO LFRD 2013 y que transportan tráfico en la misma dirección. Se asumirá que estas fuerzas actúan horizontalmente a una distancia de 1800 mm sobre la superficie de la calzada en cualquiera de las direcciones longitudinales para provocar solicitaciones extremas. Todos los carriles de diseño deberán estar cargados simultáneamente si se prevé que en el futuro el puente puede tener tráfico exclusivamente en una dirección.

(c) Se aplicarán los factores de presencia múltiple especificados en la Tabla 4.6.1-1.

#### 4.6.9 — Fuerza de colisión de un vehículo: *CT*

(a) Protección de las estructuras

- (i) No es necesario considerar los requisitos del inciso (b) en el caso de estructuras protegidas por:

- Un terraplén;
- Una barrera anti-choque estructuralmente independiente, instalada en el terreno y de 1370 mm de altura, ubicada a 3000 mm o menos del componente protegido; o
- Una barrera de 1070 mm de altura ubicada a más de 3000 mm del componente protegido.

(ii) La excepción del Inciso (i) sólo se podrá aplicar si la barrera es estructural y geoméricamente capaz de sobrevivir el ensayo de impacto para el Nivel de Ensayo 5, según lo especificado en AASTHO LRFD 2013.

**(b) Colisión de vehículos carreteros y ferroviarios contra las estructuras**

(i) A menos que estén protegidos como se especifica en el Inciso (a), los estribos y pilas de puentes ubicados a 9000 mm o menos del borde de la calzada, o a 15000 mm (15 m) o menos de la línea de centro de una vía ferroviaria, se deberán diseñar para una fuerza estática equivalente de 1,800,000 N (1800 kN), la cual se asume actúa en cualquier dirección en un plano horizontal, a una altura de 1200 mm (1.2 m) sobre el nivel del terreno.

(ii) Las estructuras como columnas o muros se deberán proteger usando un guardarriel u otros dispositivos tipo barrera. Si fuera posible, el guardarriel u otro dispositivo deberá 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 deberá estar a una distancia de al menos 600 mm de la línea de la banqueta normal.

**(c) Colisión de vehículos contra las barreras** — Se aplicarán los requisitos de la sección indicada para diseño de barreras en esta norma o en su defecto referirse a las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

**4.6.10 — Cargas hidráulicas: WA**

**(a) Presión hidrostática**

(i) Se deberá asumir que la presión hidrostática actúa de forma perpendicular a la superficie que retiene el agua. La presión se deberá calcular como el producto entre la altura de la columna de agua sobre el punto considerado, la densidad del agua y  $g$  (aceleración de la gravedad).

(ii) Los niveles de agua de diseño para los diferentes estados límites serán los especificados y/o aprobados por el Propietario.

(b) **Flotabilidad** — La flotabilidad se deberá considerar como una fuerza de levantamiento, tomada como la sumatoria de las componentes verticales de las presiones hidrostáticas, según lo especificado en el Inciso (a), que actúa sobre todos los componentes debajo del nivel de agua de diseño.

(c) **Presión de flujo**

(i) **Carga longitudinal:** La fuerza de arrastre longitudinal se deberá tomar como el producto entre la presión de flujo longitudinal y la proyección de la superficie expuesta a dicha presión. La presión debida a un flujo de agua que actúa en la dirección longitudinal de las subestructuras se deberá tomar como:

$$p = 5.14 \times 10^{-4} C_D V^2 \quad (4.6.10-1)$$

Donde:

- **p** es la presión del agua que fluye (MPa)
- **CD** es el coeficiente de arrastre para pilas como se especifica en la Tabla 4.6.10-1
- **V** es la velocidad del agua de diseño para la inundación de diseño en estados límites de resistencia y servicio, y para la inundación de control en el estado límite correspondiente a evento extremo (m/s)

**Tabla 4.6.10-1 — Coeficiente de arrastre**

Tipo	$C_D$
Pila con borde de ataque semicircular	0.7
Pila de extremo cuadrado	1.4
Arrastres acumulados contra la pila	1.4
Pila con borde de ataque en forma de cuña, ángulo del borde de ataque $\leq 90^\circ$	0.8

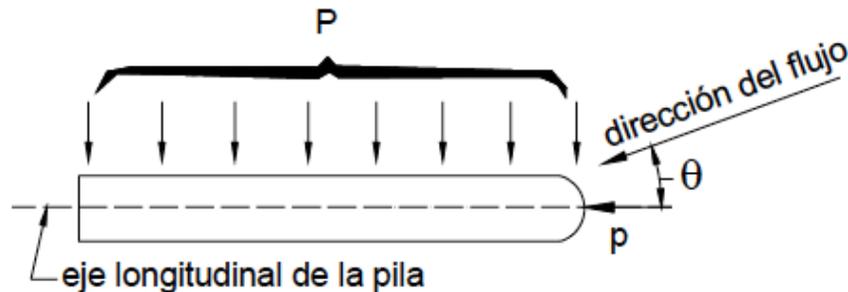
(ii) **Carga lateral:** La fuerza de arrastre lateral se deberá tomar como el producto de la presión de flujo lateral por la superficie expuesta a dicha presión. La presión lateral uniformemente distribuida que actúa sobre una subestructura debido a un caudal de agua que fluye formando un ángulo  $\theta$  respecto del eje longitudinal de la pila se deberá tomar como:

$$p = 5.14 \times 10^{-4} C_L V^2 \quad (4.6.10-2)$$

Donde:

- $p$  es la presión lateral (MPa)
- $C_L$  es el coeficiente de arrastre lateral de la Tabla 4.6.10-2

**Figura 4.6.10-1 — Vista en planta de una pila con indicación de la presión de flujo del curso de agua**



**Tabla 4.6.10-2 — Coeficiente de arrastre lateral**

Ángulo, $\theta$ , entre la dirección de flujo y el eje longitudinal de la pila	$C_L$
0°	0.0
5°	0.5
10°	0.7
20°	0.9
$\geq 30^\circ$	1.0

(d) *Carga del oleaje* — Se deberá considerar la acción del oleaje sobre las estructuras expuestas si se anticipa que se pueden desarrollar fuerzas de oleaje significativas.

(e) *Cambio de los cimientos debido al estado límite para socavación*

(i) Se deberá investigar la socavación de puentes para 2 condiciones:

- Para la inundación de diseño para socavación se deberá 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 deberá 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 deberá investigar la estabilidad de los cimientos 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 años o por una inundación de desbordamiento de menor período de recurrencia. Bajo esta condición no será necesario una reserva superior a la requerida por motivos de estabilidad. Se aplicará el estado límite de evento extremo.
- (ii) Si las condiciones del sitio, debidas al 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 podrá usar tal evento. Las zapatas ensanchadas fundidas sobre suelo o roca erosionable se deberán 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 fundidas sobre roca resistente a la socavación se deberán diseñar y construir de manera de mantener la integridad de la roca portante.
- (iii) Cuando resulte practicable, los cimientos profundos con zapatas se deberán 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 deberán 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 deberá prestar atención al potencial de socavación del diseño.
- (iv) Si se utilizan espolones u otros sistemas de protección de pilas, el diseño deberá considerar su influencia sobre la socavación de las pilas y la acumulación de arrastre.

- (v) Se deberá investigar exhaustivamente la estabilidad de los estribos en zonas de flujo turbulento. Los taludes expuestos se deberán proteger adecuadamente mediante medidas para contrarrestar la socavación.
- (vi) Las consecuencias de los cambios de las condiciones de cimientos, provocados por la inundación de diseño para socavación, se deberán considerar en los estados límites de resistencia y servicio. Las consecuencias de los cambios de las condiciones de cimientos provocados por la socavación resultante de la inundación de control para socavación y por los huracanes, se deberán considerar en los estados límites correspondientes a eventos extremos.

#### **4.6.11 — Carga de viento: WL y WS (aplicable en algunas regiones y en puentes especiales)**

##### **(a) Presión horizontal del viento**

- (i) Para el cálculo de la fuerza de viento se deberán utilizar los factores y fórmulas establecidos en la Norma NSE 2, de donde se obtendrá la presión de diseño.
- (ii) Se asumirá que la carga de viento estará uniformemente distribuida sobre el área expuesta al viento. El área expuesta será la sumatoria de las áreas de todos los componentes, incluyendo el sistema de piso y las barandas, vistas en elevación y perpendiculares a la dirección de viento supuesta. Esta dirección se deberá variar para determinar las solicitaciones extremas en la estructura o en sus componentes. En el análisis se podrán desprestigiar las superficies que no contribuyen a la solicitación extrema considerada.
- (iii) En caso de que no se puedan determinar las condiciones límites de la carga de viento de diseño con las Especificaciones NSE 2 para un puente debido a sus condiciones especiales y/o específicas del proyecto, podrán utilizarse la Norma LRFD 2013, siempre que se utilicen los datos locales de velocidad básica del viento.

**(b) Presión vertical del viento** — A menos que en esta norma se determine lo contrario, se deberá considerar una fuerza de viento vertical ascendente de  $9.6 \times 10^{-4}$  Mpa por el ancho del tablero, incluyendo los parapetos y aceras, como una carga lineal longitudinal. Esta fuerza se deberá aplicar sólo para los estados límites que no involucran viento actuando sobre la sobrecarga (WL), y sólo cuando la dirección del viento se tomará perpendicular al eje longitudinal del puente. Esta fuerza lineal se deberá aplicar en el punto correspondiente a un cuarto del ancho del tablero a barlovento, juntamente con las cargas de viento horizontales especificadas en el inciso (a).

(c) **Inestabilidad aeroelástica**

- (i) Se deberán considerar las solicitaciones aeroelásticas en el diseño de puentes y componentes estructurales que puedan ser sensibles al viento. A los fines del presente artículo, todos los puentes y componentes estructurales de los mismos cuya relación longitud de tramo/ancho o profundidad sea superior a 30.0 se deberán considerar sensibles al viento.
- (ii) Adicionalmente se deberá considerar la vibración de cables provocada por la interacción del viento y la lluvia.

(d) **Fenómenos aeroelásticos** — Cuando corresponda, se deberán considerar los fenómenos aeroelásticos de excitación por desprendimiento de vórtices, "galloping", "flutter" y divergencia.

(e) **Control de respuestas dinámicas**

- (i) Los puentes y sus componentes estructurales, incluidos los cables, se deberán diseñar de manera de estar libres de daños por fatiga provocados por oscilaciones inducidas por desprendimiento de vórtices y el fenómeno de "galloping".
- (ii) Los puentes se deberán diseñar de manera de estar libres de divergencia y "galloping" catastrófico hasta para 1.2 veces la velocidad del viento de diseño aplicable a la altura del tablero del puente.

(f) **Ensayos en túnel de viento** — Para satisfacer los requisitos de las Secciones 4.6.11 (d) y 4.6.11 (e) se podrán utilizar ensayos representativos en túnel de viento.

(g) **Presión de viento sobre los vehículos: WL**

- (i) Si hay vehículos presentes, la presión del viento de diseño se deberá aplicar tanto a la estructura como a los vehículos. La presión del viento sobre los vehículos se debe representar como una fuerza interrumpible y móvil de 1.46 N/mm (1.46 kN/m) actuando normal a la calzada y a 1800 mm sobre la misma, y se deberá transmitir a la estructura.
- (ii) Si el viento sobre los vehículos no se considera normal a la estructura, las componentes de fuerza normal y paralela aplicadas a la sobrecarga viva se pueden tomar como se especifica en la Tabla 4.6.11-1, considerando el ángulo de oblicuidad con respecto a la normal a la superficie.

**Tabla 4.6.11-1 — Valores de componentes de cargas de viento sobre la carga viva**

Ángulo de oblicuidad (Grados)	Componente normal (N/mm)	Componente paralela (N/mm)
0	1.46	0.00
15	1.28	0.18
30	1.20	0.35
45	0.96	0.47
60	0.50	0.55

## 4.7 — Empuje del suelo: EH, ES, LS y DD

### 4.7.1 — Requisitos generales

(a) El empuje del suelo se deberá considerar en función de los siguientes factores:

- (i) Tipo y densidad del suelo
- (ii) Contenido de agua
- (iii) Características de fluencia lenta del suelo
- (iv) Grado de compactación
- (v) Ubicación del nivel freático
- (vi) Interacción suelo-estructura
- (vii) Cantidad de sobrecarga
- (viii) Efectos sísmicos
- (ix) Pendiente del relleno
- (x) Inclinación del muro

No se deberá utilizar limo ni arcilla magra como relleno, a menos que se empleen procedimientos de diseño adecuados y que en la documentación técnica se incluyan medidas de control que tomen en cuenta su presencia. Se deberá considerar el desarrollo de presiones del agua intersticial dentro de la masa del suelo de acuerdo con lo que se especifica en esta norma o, en su defecto, en la Norma AASTHO LRFD 2013. Se deberán disponer medidas de drenaje adecuadas para impedir que detrás del muro se desarrollen presiones hidrostáticas y fuerzas de filtración. En ningún caso se deberá utilizar arcilla altamente plástica como relleno.

**4.7.2 Compactación** — Si se anticipa que habrá compactación mecánica dentro de una distancia igual a la mitad de la altura del muro, tomando esta altura como la diferencia de cotas entre los puntos donde la superficie terminada interseca el respaldo del muro y la base del muro, se deberá tomar en cuenta el efecto del empuje adicional que puede inducir la compactación.

#### 4.7.3 — Presencia de agua

- (a) Si no se permite que el suelo retenido drene, el efecto de la presión hidrostática del agua se deberá sumar al efecto del empuje del suelo.
- (b) En casos en los cuales se anticipe que habrá endicamiento de agua detrás de la estructura, el muro se deberá dimensionar para soportar la presión hidrostática del agua más el empuje del suelo.
- (c) Para determinar el empuje lateral del suelo debajo del nivel freático se deberán utilizar las densidades del suelo sumergido.
- (d) Si el nivel freático difiere a ambos lados del muro, se deberán considerar los efectos de la filtración sobre la estabilidad del muro y el potencial de socavación. Para determinar los empujes laterales totales que actúan sobre el muro se deberán sumar las presiones del agua intersticial a las tensiones efectivas horizontales.

**4.7.4 Efecto sísmico** — Se deberán considerar los efectos de la inercia del muro y la probable amplificación del empuje pasivo y/o movilización de masas de suelo pasivas por parte de un sismo.

#### 4.7.5 — Empuje Lateral del Suelo EH

- (a) Se asumirá que el empuje lateral del suelo es linealmente proporcional a la altura del suelo, y se deberá tomar como:

$$p = k\gamma_s gz (\times 10^{-9}) \quad (4.7.5-1)$$

Donde:

- $p$  es el empuje lateral del suelo (MPa)
- $k$  es el coeficiente de empuje lateral tomado como  $k_o$ , especificado para muros que no se deforman ni mueven;  $k_a$ , especificado para muros que se deforman o mueven lo suficiente para alcanzar la condición mínima activa; o  $k_p$ , especificado para muros que se deforman o mueven lo suficiente para alcanzar una condición pasiva
- $\gamma_s$  es la densidad del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )
- $z$  es la profundidad del suelo debajo de la superficie (mm)
- $g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

(b) Se asumirá que la carga de suelo lateral resultante debida al peso del relleno actúa a una altura igual a  $H/3$  desde la base del muro, siendo  $H$  la altura total del muro medida desde la superficie del terreno en el respaldo del muro hasta la parte inferior de la zapata o la parte superior de la plataforma de nivelación (para estructuras de tierra estabilizadas mecánicamente).

(c) **Coefficiente de empuje lateral en reposo,  $k_o$**

(i) Para suelos normalmente consolidados, muro vertical y terreno nivelado, el coeficiente de empuje lateral en reposo se podrá tomar como:

$$k_o = 1 - \text{sen } \phi'_f \quad (4.7.5 -1)$$

Donde:

- $\phi'_f$  es el ángulo efectivo de fricción del suelo
- $k_o$  es el coeficiente de empuje lateral del suelo en reposo

(ii) Para los suelos sobreconsolidados se podrá asumir que el coeficiente de empuje lateral en reposo variará en función de la relación de sobreconsolidación o historial de sollicitaciones, y se podrá tomar como:

$$k_o = \left(1 - \text{sen } \phi'_f\right) (\text{OCR})^{\text{sen } \phi'_f} \quad (4.7.5-2)$$

Donde:

- **OCR** es la relación de sobreconsolidación

(iii) No se deberá utilizar limo ni arcilla magra como relleno, a menos que se empleen procedimientos de diseño adecuados y que en la documentación técnica se incluyan medidas de control que tomen en cuenta su presencia. Se deberá considerar el desarrollo de presiones del agua intersticial dentro de la masa del suelo de acuerdo con lo que se especifica en esta norma o, en su defecto, en la Norma AASTHO LRFD 2013.

(iv) Se deberán disponer medidas de drenaje adecuadas para impedir que detrás del muro se desarrollen presiones hidrostáticas y fuerzas de filtración. En ningún caso se deberá utilizar arcilla altamente plástica como relleno.

(d) **Coefficiente de empuje lateral activo,  $k_a$**

(i) El coeficiente de empuje lateral activo se podrá tomar como:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma [\text{sen}^2\theta \text{sen}(\theta - \delta)]} \quad (4.7.5-3)$$

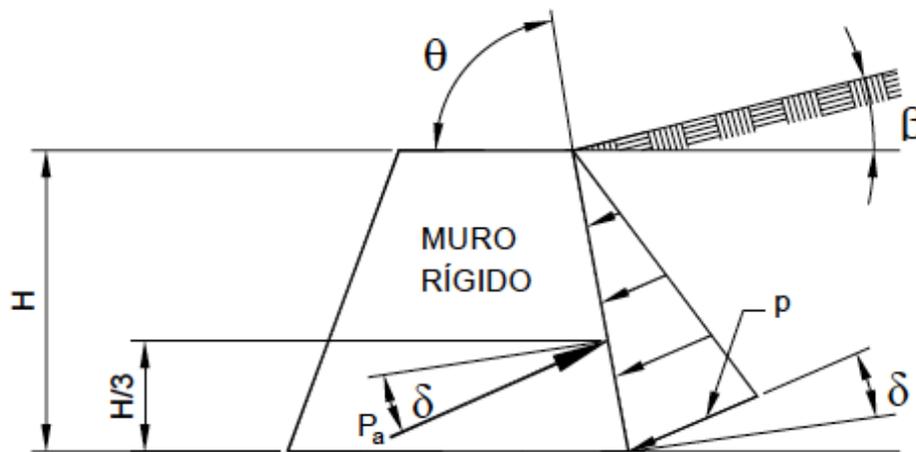
(ii) Para la Ecuación 4.7.5-3  $\Gamma$  será igual a:

$$\Gamma = \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi'_f + \delta)\text{sen}(\phi'_f - \beta)}{\text{sen}(\theta - \delta)\text{sen}(\theta + \beta)}} \right]^2 \quad (4.7.5-4)$$

Donde:

- $\delta$  es el ángulo de fricción entre relleno y muro tomado como se especifica en la Tabla 4.7.5-1 (°)
- $\beta$  es el ángulo que forma la superficie del relleno respecto de la horizontal como se indica en la Figura 4.7.5-1 (°)
- $\theta$  es el ángulo que forma el respaldo del muro respecto de la horizontal como se indica en la Figura 4.7.5-1 (°)
- $\phi'_f$  es el ángulo efectivo de fricción interna (°)

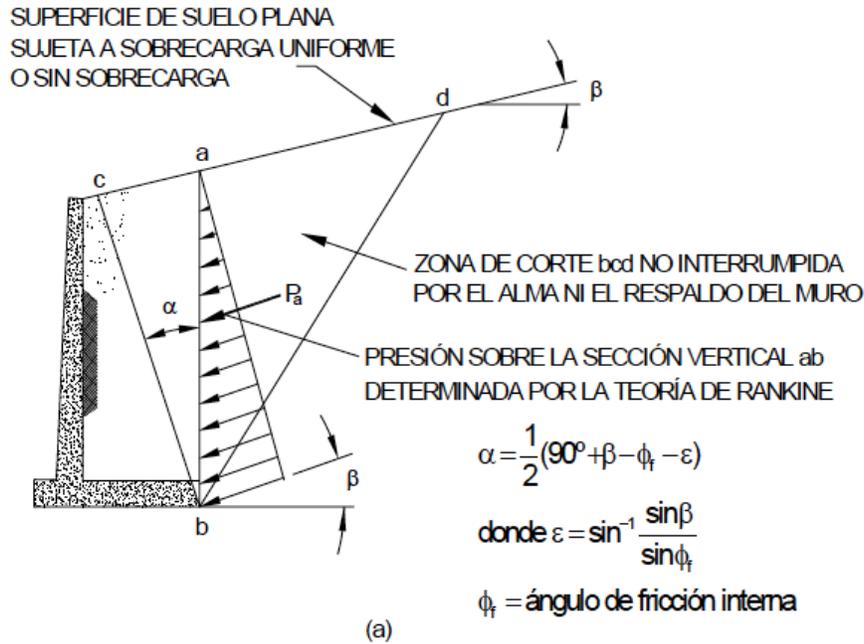
**Figura 4.7.5-1 — Simbología para el empuje activo de Coulomb**



**Comentario 4.7.5.4**

Para condiciones diferentes a las descritas en la Figura 4.7.5-1, el empuje activo se podrá calcular utilizando un método de tanteos basado en la teoría de la cuña usando el método de Culmann (por ejemplo, ver Terzaghi et al. 1996).

**Figura 4.7.5-2 — Aplicación de las Teoría de Rankine para el diseño de muros de sostenimiento**



**Figura 4.7.5-3 — Aplicación de la Teoría de Coulomb para el diseño de muros de sostenimiento**

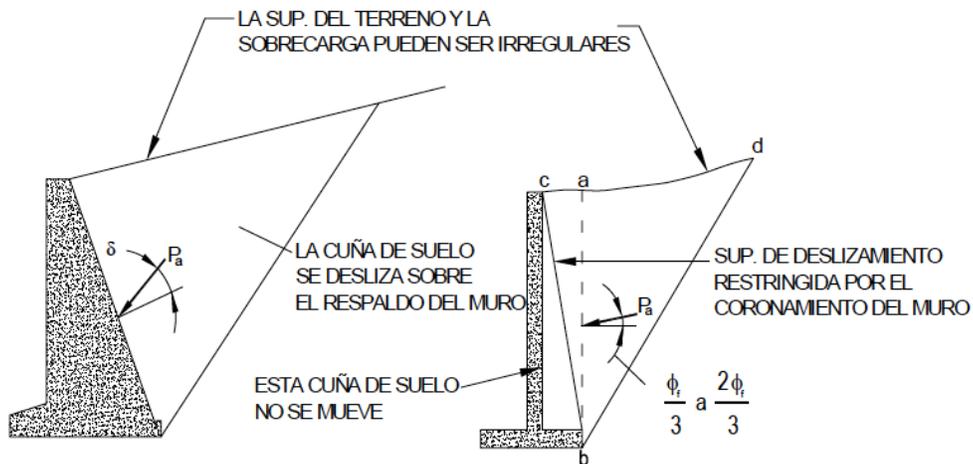


Tabla 4.7.5-1 — Ángulo de fricción entre diferentes materiales <sup>[1]</sup>

Materiales en interfase	Ángulo de fricción, $\delta$ (°)	Coefficiente de fricción, $\tan \delta$
<b>Concreto masivo sobre los siguientes materiales de cimentación:</b>		
• Roca sana y limpia	35	0.70
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa	29 a 31	0.55 a 0.60
• Arena limpia fina a media, arena limosa media a gruesa, grave limosa o arcillosa	24 a 29	0.45 a 0.55
• Arena fina limpia, arena limosa o arcillosa fina a media	19 a 24	0.34 a 0.45
• Limo fino arenoso, limo no plástico	17 a 19	0.31 a 0.34
• Arcilla residual o preconsolidada muy rígida y dura	22 a 26	0.40 a 0.49
• Arcilla de rigidez media y rígida; arcilla limosa	17 a 19	0.31 a 0.34
<b>Tablestacas de acero contra los siguientes suelos:</b>		
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduada con astillas	22	0.40
• Arena limpia, mezclas de grava y arena limosa, relleno de roca dura de un solo tamaño	17	0.31
• Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	14	0.25
• Limo fino arenoso, limo no plástico	11	0.19
<b>Concreto moldeado o prefabricado o tablestacas de concreto contra los siguientes suelos:</b>		
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduada con astillas	22 a 26	0.40 a 0.49
• Arena limpia, mezclas de grava y arena limosa, relleno de roca dura de un solo tamaño	17 a 22	0.31 a 0.40
• Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	17	0.31
• Limo fino arenoso, limo no plástico	14	0.25
<b>Diferentes materiales estructurales:</b>		
• Mampostería sobre mampostería, rocas ígneas y metamórficas:		
- roca blanda tratada sobre roca blanda tratada	35	0.70
- roca dura tratada sobre roca blanda tratada	33	0.65
- roca dura tratada sobre roca dura tratada	29	0.55
• Mampostería sobre madera en la dirección transversal al grano	26	0.49
• Acero sobre acero tratado de tablestacas	17	0.31

<sup>[1]</sup>Gravity dams EM1110-2-2200. Cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos.

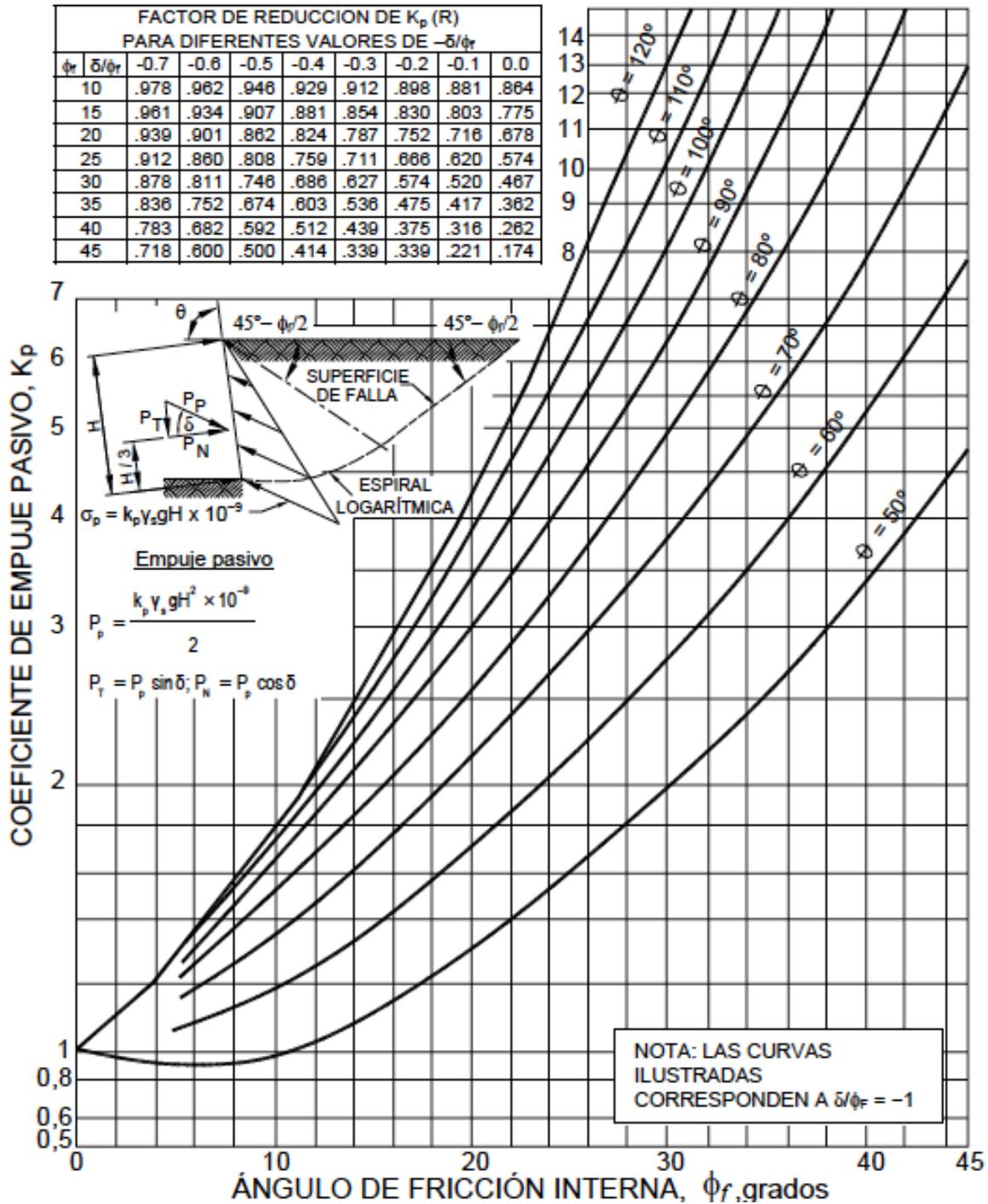
(e) **Coefficiente de empuje lateral pasivo,  $k_p$ :** Para los suelos cohesivos, los empujes pasivos se podrán estimar de la siguiente manera:

$$p_p = k_p \gamma_s g z (+10^{-9}) + 2c\sqrt{k_p} \quad (4.7.5-5)$$

Donde:

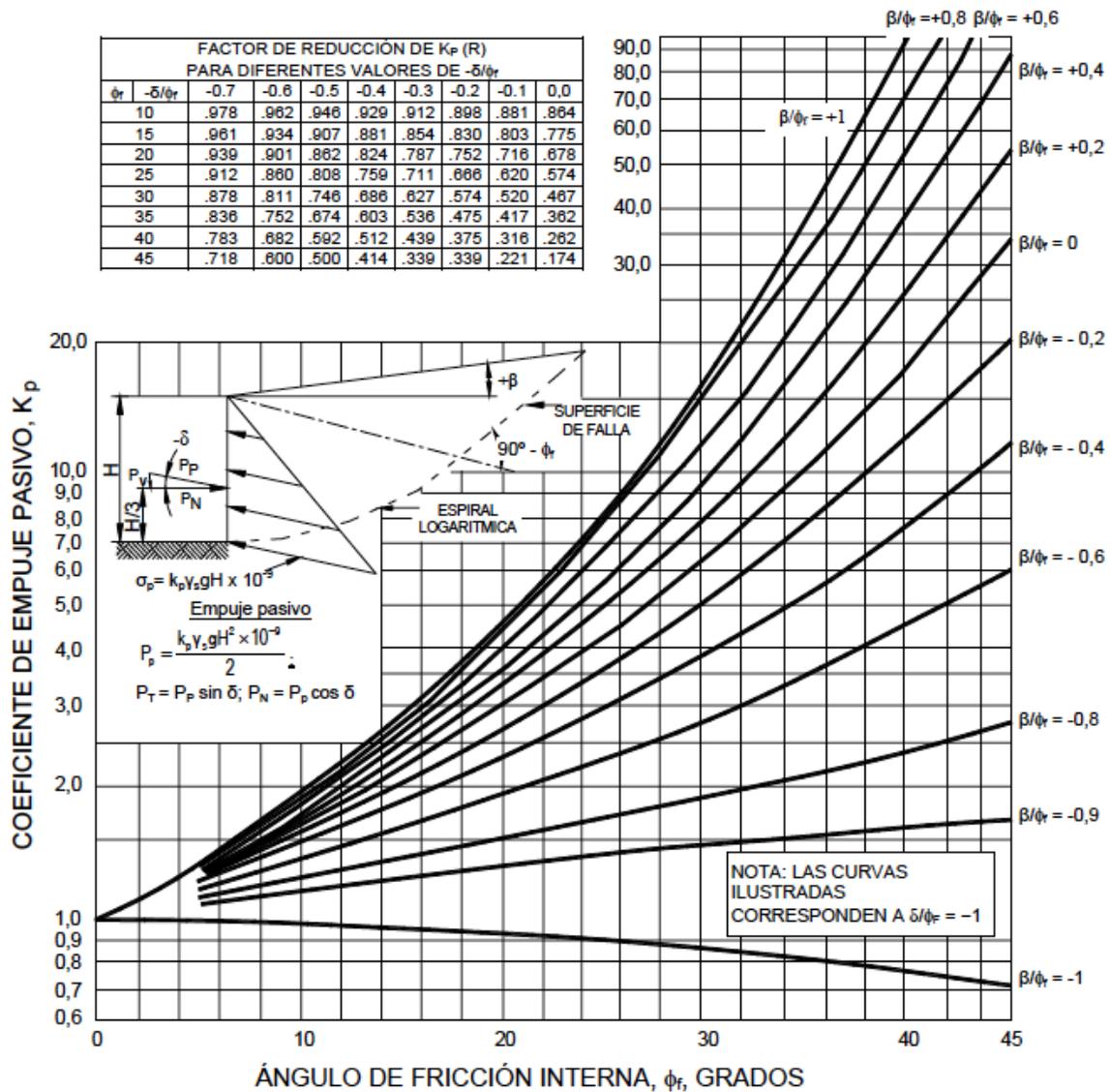
- $P_p$  es el empuje lateral pasivo del suelo (MPa)
- $\gamma_s$  es la densidad del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )
- $z$  es la profundidad debajo de la superficie del suelo (mm)
- $c$  es la cohesión del suelo (MPa)
- $k_p$  es el coeficiente de empuje lateral pasivo del suelo
- $g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

Figura 4.7.5-4 — Procedimientos de cálculo de empujes pasivos del suelo para muros verticales e inclinados con relleno de superficie horizontal [1]



[1](U.S. Department of the Navy 1982a). Tomado de las Especificaciones AASTHO LRFD.

**Figura 4.7.5-5 — Procedimiento de cálculo de empujes pasivos del suelo para muros verticales con relleno de superficie inclinada**



<sup>11</sup>(U.S. Department of the Navy 1982<sup>a</sup>). Tomado de las especificaciones AASTHO LRFD.

**Comentario 4.7.5 e**

Para el cálculo de las cargas y análisis estructural de muros del tipo cantiléver (voladizo), tierra armada, inclinados, prefabricados, tablestacas, etc., se podrá utilizar las recomendaciones que brindan las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

#### 4.7.6 — Sobrecargas: ES

##### (a) Sobrecarga uniforme (ES)

- (i) Si existe una sobrecarga uniforme, al empuje básico del suelo se le deberá sumar un empuje horizontal constante. Este empuje constante se podrá tomar como:

$$\Delta p = k_s q_s \quad (4.7.6-1)$$

Donde:

- $\Delta p$  es el empuje horizontal constante debido a la sobrecarga uniforme (MPa)
- $k_s$  es el coeficiente de empuje del suelo debido a la sobrecarga
- $q_s$  es la sobrecarga uniforme aplicada sobre la superficie superior de la cuña de suelo-activa (MPa)

- (ii) Para condiciones de empuje activo  $k_s$  se deberá tomar como  $k_a$ , y para condiciones "en reposo"  $k_s$  se deberá tomar como  $k_o$ . Alternativamente, se podrán utilizar valores intermedios adecuados para el tipo de relleno y cantidad de movimiento del muro.

##### (b) Cargas puntuales, lineales y de faja (ES): muros restringidos contra el movimiento

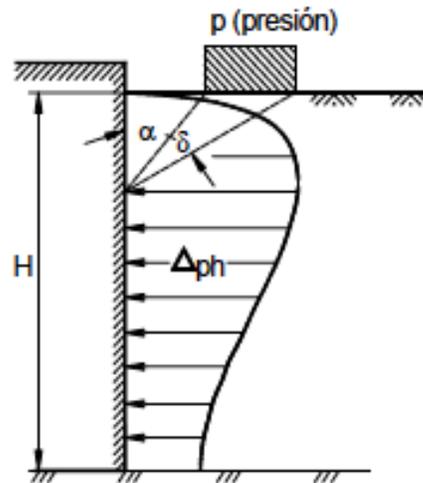
- (i) El empuje horizontal que actúa sobre un muro debido a una faja uniformemente cargada paralela al muro,  $\Delta_{ph}$ , en MPa, se podrá tomar como:

$$\Delta_{ph} = \frac{2p}{\pi} (\delta - \text{sen} \delta \cos(\delta + 2\alpha)) \quad (4.7.6-2)$$

Donde:

- $p$  es la intensidad de la carga uniforme actuando en una faja paralela al muro (MPa)
- $\alpha$  es el ángulo especificado en la Figura 4.7.6-1 (radianes)
- $\delta$  es el ángulo especificado en la Figura 4.7.6.-2 (radianes)

**Figura 4.7.6-1 — Empuje horizontal sobre un muro provocado por una faja uniformemente cargada**



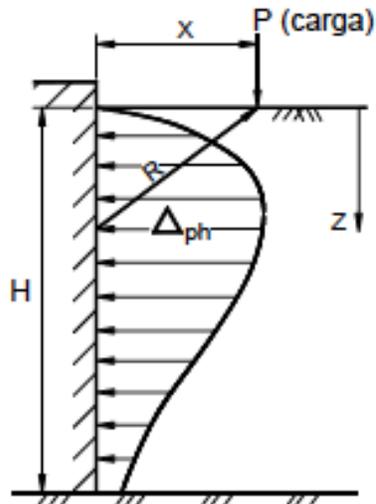
- (ii) El empuje horizontal que actúa sobre un muro debido a una carga puntual,  $\Delta_{ph}$  en MPa, se podrá tomar como:

$$\Delta_{ph} = \frac{P}{\pi R^2} \left[ \frac{3ZX^2}{R^3} - \frac{R(1-2\nu)}{R+Z} \right] \quad (4.7.6-3)$$

Donde:

- **P** es la carga puntual (N)
- **X** es la distancia horizontal desde el paramento posterior del muro hasta el punto de aplicación de la carga (mm)
- **Y** es la distancia horizontal desde un punto en el muro considerado hasta un plano perpendicular al muro que pasa por el punto de aplicación de la carga, medida sobre el muro (mm)
- **Z** es la distancia vertical desde el punto de aplicación de la carga hasta la elevación de un punto sobre el muro considerado (mm)
- **v** es el coeficiente de Poisson (adimensional)
- **R** es la distancia radial desde el punto de aplicación de la carga hasta un punto en el muro según lo especificado en la Figura 4.7.6-2 (mm).
- **R** = 0.5 \* (X<sup>2</sup> + Y<sup>2</sup> + Z<sup>2</sup>)

**Figura 4.7.6-2 — Empuje horizontal sobre un muro provocado por una carga puntual**



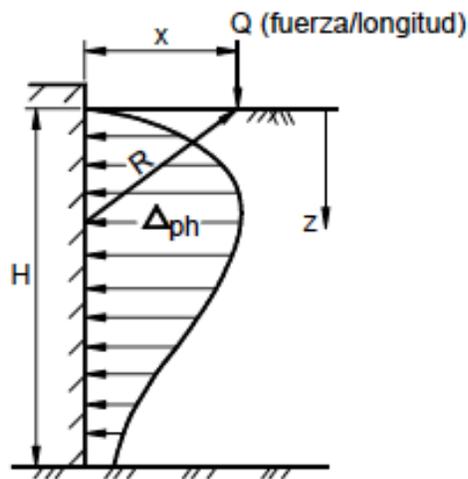
(iii) El empuje horizontal que actúa sobre un muro debido a una carga lineal infinitamente larga paralela al muro,  $\Delta_{ph}$  en MPa, se podrá tomar como:

$$\Delta_{ph} = \frac{4Q x^2 z}{\pi R^4} \quad (4.7.6-4)$$

Donde:

- **Q** es la intensidad de la carga en N/mm.
- El resto de la simbología corresponde a lo definido anteriormente e ilustrado en la Figura 4.7.6-3.

**Figura 4.7.6-3 — Empuje horizontal sobre un muro provocado por una carga lineal infinitamente larga paralela al muro**



(iv) El empuje horizontal que actuará sobre un muro debido a una carga lineal de longitud finita perpendicular a un muro,  $\Delta_{ph}$ , en MPa, se podrá tomar como:

$$\Delta_{ph} = \frac{Q}{\pi Z} \left( \frac{1}{A^3} - \frac{1-2\nu}{A + \frac{Z}{X_2}} - \frac{1}{B^3} + \frac{1-2\nu}{B + \frac{Z}{X_1}} \right) \quad (4.7.6-5)$$

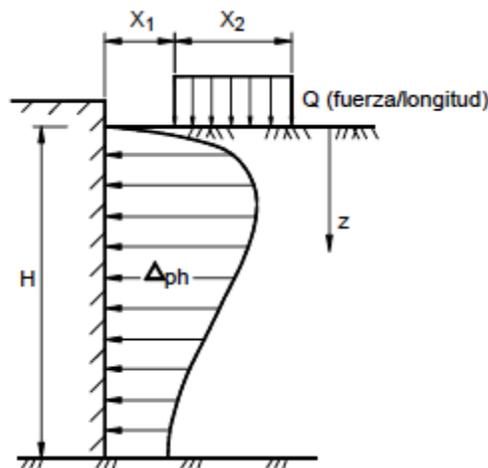
Donde:

$$A = \sqrt{1 + \left(\frac{Z}{X_2}\right)^2} \quad (4.7.6-6)$$

$$B = \sqrt{1 + \left(\frac{Z}{X_1}\right)^2} \quad (4.7.6-7)$$

- $X_1$  es la distancia desde el paramento posterior del muro hasta el inicio de la carga lineal como se especifica en la Figura 4.7.6-4 (mm)
- $X_2$  es la longitud de la carga lineal (mm)
- $Z$  es la profundidad desde la superficie del terreno hasta un punto sobre el muro considerado (mm)
- $\nu$  es el coeficiente de Poisson (adimensional)
- $Q$  es la intensidad de la carga (N/mm.)

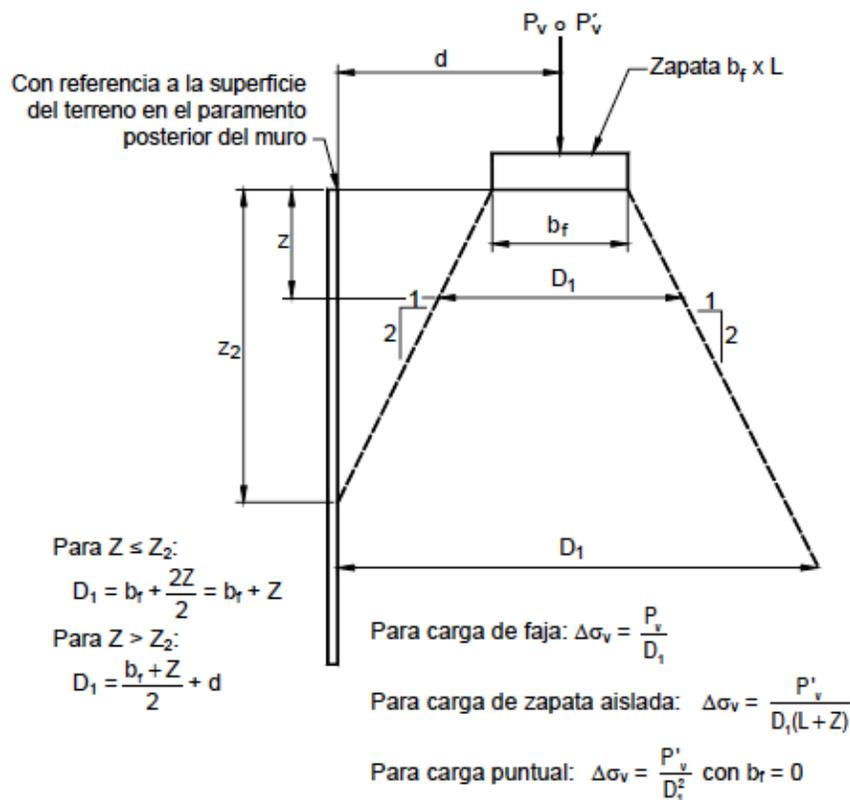
**Figura 4.7.6-4 — Empuje horizontal sobre un muro provocado por una carga lineal de longitud finita perpendicular al muro**



(c) Cargas de faja (ES) – muros flexibles

- (i) Las cargas permanentes concentradas se deberán incorporar al diseño para estabilidad interna y externa utilizando una distribución vertical uniforme simplificada, de 2 vertical en 1 horizontal, para determinar la componente vertical del empuje en función de la profundidad dentro de la masa de suelo reforzado, tal como se ilustra en la Figura 4.7.6-5. Las cargas concentradas horizontales que actúan en la parte superior del muro se deberán distribuir dentro de la masa de suelo reforzado como se especifica en la Figura 4.7.6-6. Si hay cargas concentradas permanentes detrás de la masa de suelo reforzado, éstas se deberán distribuir del mismo modo que se distribuirían dentro de la masa de suelo reforzado.

Figura 4.7.6-5 — Distribución vertical del empuje debido a una carga concentrada  $P_v$



Donde:

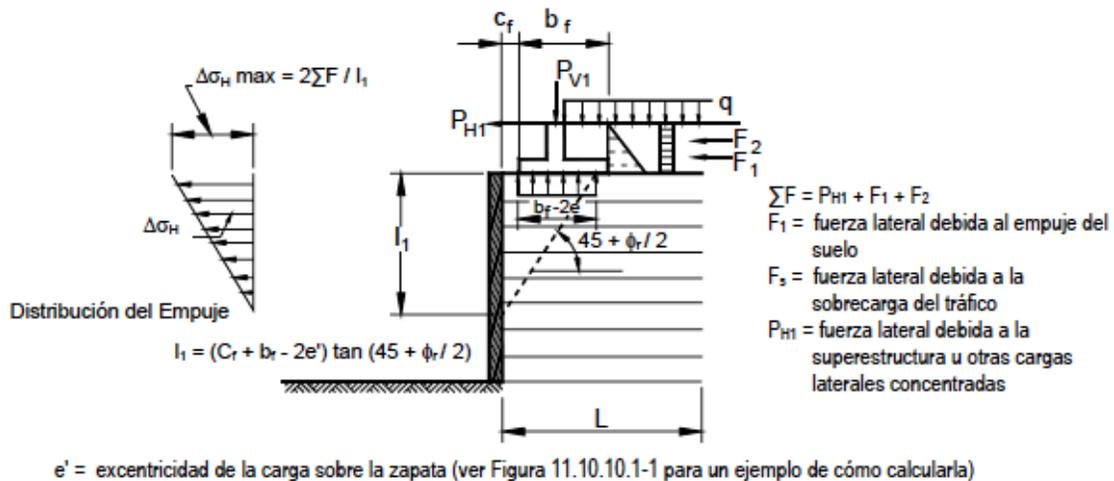
- $D_1$  es el ancho efectivo de la carga aplicada a cualquier profundidad, calculada como se indica en la Figura 4.7.6-5

- $b_f$  es el ancho de la carga aplicada. Para zapatas con carga excéntrica (por ejemplo, cimientos de estribos de puentes) fijar  $b_f$  igual al ancho de zapata equivalente,  $B'$  reduciéndolo en  $2e'$ , siendo  $e'$  la excentricidad de la carga en la zapata (es decir,  $b_f - 2e'$ )
- $L$  es la longitud de la zapata
- $P_v$  es la carga por pie lineal de zapata corrida
- $P'_v$  es la carga sobre zapata aislada rectangular o carga puntual
- $d$  es la distancia entre el baricentro de la carga vertical concentrada y el paramento posterior del muro
- $Z_2$  es la profundidad donde el ancho efectivo interseca el paramento posterior del muro

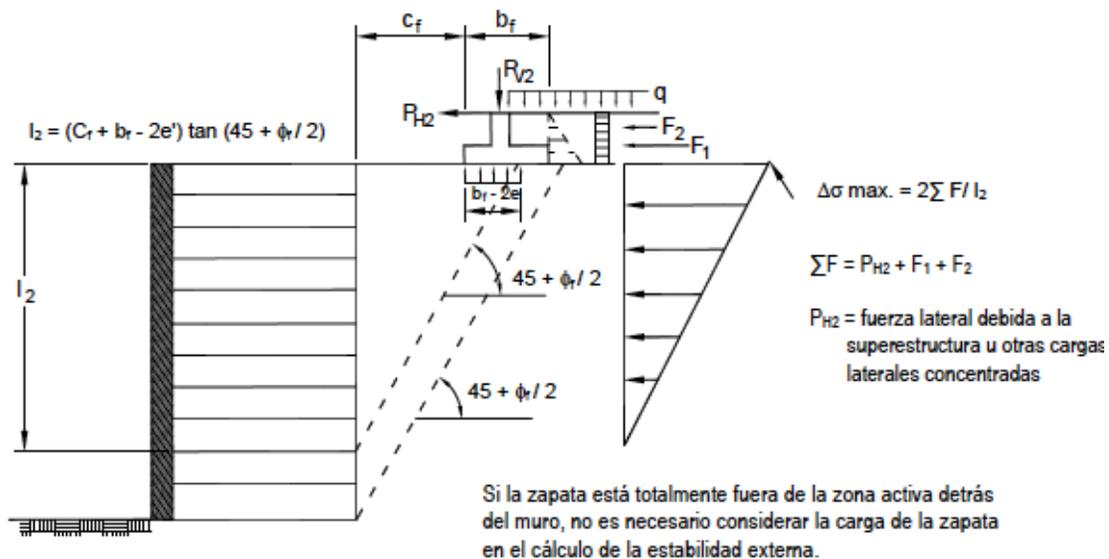
$$Z_2 = 2d - b_f \quad (4.7.6-8)$$

- (ii) Para determinar el efecto de la sobrecarga del Inciso (i) sobre la estabilidad externa, la tensión vertical distribuida detrás de la zona reforzada se deberá multiplicar por  $k_a$ . La tensión horizontal concentrada que se distribuye detrás del muro como se especifica en la Figura 4.7.6-6 no se deberá multiplicar por  $k_a$ .

**Figura 4.7.6-6 — Distribución del empuje provocado por cargas concentradas horizontales**



a. Distribución del empuje para el cálculo de la estabilidad interna



b. Distribución del empuje para el cálculo de la estabilidad externa

- (iii) Si la sobrecarga está ubicada detrás de la masa de suelo reforzado, se deberá asumir que el mayor empuje vertical debido a la sobrecarga no afectará las tensiones utilizadas para evaluar la estabilidad interna. Para la estabilidad externa se deberá asumir que la sobrecarga no tendrá ninguna influencia si está ubicada fuera de la zona activa detrás del muro.

(d) *Reducción debida al empuje del suelo:* Para alcantarillas, puentes y sus componentes, en aquellos casos en los cuales el empuje del suelo podría reducir las solicitaciones provocadas por otras cargas y fuerzas, esta reducción se deberá limitar al empuje del suelo que se anticipa estará presente de manera permanente. En ausencia de información más precisa se podrá realizar una reducción del 50 por ciento, pero no es necesario combinar con el factor de carga mínimo especificado en la Tabla 4.4.4-2 de esta norma.

#### 4.7.7 — Sobrecarga viva (LS)

##### (a) Estimación de la sobrecarga viva: LS

(i) Se deberá aplicar una sobrecarga viva si se anticipa que habrá cargas vehiculares actuando sobre la superficie del relleno en una distancia igual a la mitad de la altura del muro detrás del paramento posterior del muro. Si la sobrecarga es para una carretera, su intensidad deberá ser consistente con los requisitos de la Sección 4.6.1 de esta norma. Si la sobrecarga no es para una carretera el propietario deberá especificar y/o aprobar sobrecargas vivas adecuadas.

(ii) El aumento del empuje horizontal provocado por la sobrecarga viva se puede estimar como:

$$\Delta_p = k\gamma_s gh_{eq} \times 10^{-9} \quad (4.7.7-1)$$

Donde:

- $\Delta_p$  es el empuje horizontal constante del suelo debido a la sobrecarga viva (MPa)
- $\gamma_s$  es la densidad total del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )
- $k$  es el coeficiente de empuje lateral del suelo
- $h_{eq}$  es la altura de suelo equivalente para carga vehicular (mm)
- $g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

(iii) Las alturas de suelo equivalente,  $h_{eq}$ , para cargas carreteras sobre estribos y muros de sostenimiento se podrán tomar de las Tablas 4.7.7-1 y 4.7.7-2. Para alturas de muro intermedias se deberá interpolar linealmente.

**Tabla 4.7.7-1 — Altura de suelo equivalente para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico**

Altura del estribo (mm)	$h_{eq}$ (mm)
1500	1200
3000	900
≥ 6000	600

**Tabla 4.7.7-2 — Altura de suelo equivalente para carga vehicular sobre muros de sostenimiento**

Altura del muro (mm)	$h_{eq}$ (mm)	
	Distancia entre el paramento posterior del muro y el borde del tráfico	
	0.0 mm	300 mm o más
1500	1500	600
3000	1050	600
≥ 6000	600	600

(iv) La altura del muro se deberá tomar como la distancia entre la superficie del relleno y el fondo de la zapata a lo largo de la superficie de contacto considerada.

(b) **Reducción de la sobrecarga:** Si la carga vehicular se transmite a través de una losa estructural que a su vez es soportada por medios diferentes al suelo, se podrá permitir una correspondiente reducción de las sobrecargas.

**4.7.8 Fricción negativa: DD —** Las solicitaciones debidas a la fricción negativa en pilas o pilotes perforados provocadas por el asentamiento del suelo adyacente a la pila o pilote se deberán determinar de acuerdo con los requisitos de las Especificaciones de diseño AASHTO LFRD. Deberán de ser determinadas por el experto en suelos y geotecnia.

## 4.8 — Solicitaciones provocadas por deformaciones superpuestas: TU, TG, SH, CR, SE

**4.8.1 Requisitos generales** — Se deberán considerar las solicitaciones internas que la fluencia lenta y contracción provocan en los componentes. Si corresponde, se debería incluir el efecto del gradiente de temperatura. Las solicitaciones debidas a la deformación de los componentes resistentes, el desplazamiento de los puntos de aplicación de las cargas y los movimientos de los apoyos se deberán incluir en el análisis.

**4.8.2 Temperatura uniforme** — El movimiento térmico de diseño asociado con un cambio uniforme de la temperatura se puede calcular utilizando el Procedimiento A o el Procedimiento B descritos en las Secciones 3.12.2.1 y 3.12.2.2 de las Especificaciones AASHTO LRFD 2013. Para puentes con tablero de concreto que tienen vigas de concreto o acero se podrá utilizar tanto el Procedimiento A como el Procedimiento B. Para todos los demás tipos de puentes se deberá utilizar el procedimiento A.

(a) **Procedimiento A:** Los rangos de temperatura serán los especificados en la Tabla 4.8.2-1. Para calcular los efectos provocados por la deformación de origen térmico se deberá utilizar la diferencia entre el límite inferior o superior extendido y la temperatura básica de la construcción supuesta para el diseño.

**Tabla 4.8.2-1 — Rangos de temperatura para el Procedimiento A**

Clima	Acero o Aluminio	Concreto	Madera
Moderado	-18° a 50° C	-12° a 27° C	-12° a 24° C
Frío	-35° a 50° C	-18° a 27° C	-18° a 24° C

(b) **Procedimiento B:** El rango de temperatura se definirá como la diferencia entre la máxima temperatura de diseño,  $T_{\text{MáxDiseño}}$ , y la mínima temperatura de diseño,  $T_{\text{MinDiseño}}$ . Para todos los puentes en general  $T_{\text{MáxDiseño}}$  y  $T_{\text{MinDiseño}}$  se deberá determinar en base a las curvas Isotermas que se tenga determinadas para la República de Guatemala

(c) **Desplazamientos de diseño:** Los desplazamientos de diseño para las juntas y apoyos dependerán de las temperaturas extremas de diseño del puente definidas en la Sección 3.12.2.2.1 de AASHTO LRFD 2013 y del tipo de unión o apoyo.

- (i) **Apoyos elastoméricos** — El movimiento de origen térmico total de diseño para un apoyo elastomérico,  $\Delta$ , el cual no se desplazará durante el montaje, se deberá determinar como lo indica la Ecuación 4.8.2-1.

$$\Delta = 1.3\alpha L(T_{MáxDiseño} - T_{MinDiseño}) \quad (4.8.2-1)$$

Donde:

- $L$  es la longitud de expansión (mm)
- $\alpha$  es el coeficiente de expansión térmica (mm/mm/°C)

- (ii) **Otros apoyos** — Los apoyos mecánicos, las superficies de deslizamiento de PTFE (también conocido como politetrafluoroetileno o su nombre comercial "teflón") y los apoyos que se pueden desplazar durante el montaje deberán tener un movimiento de diseño total,  $\Delta$ , determinado de la siguiente manera:

$$\Delta = \alpha L(T_{MáxDiseño} - T_{MinDiseño}) \quad (4.8.2-2)$$

Donde:

- $L$  es la longitud de expansión (mm)
- $\alpha$  es el coeficiente de expansión térmica (mm/mm/°C)

- (iii) **Juntas de expansión** — El movimiento de diseño total,  $\Delta$ , para las juntas de expansión se deberá determinar de la siguiente manera:

$$\Delta = \alpha L(T_{MáxDiseño} - T_{MinDiseño}) \quad (4.8.2-3)$$

Donde:

- $L$  es la longitud de expansión (mm)
- $\alpha$  es el coeficiente de expansión térmica (mm/mm/°C)

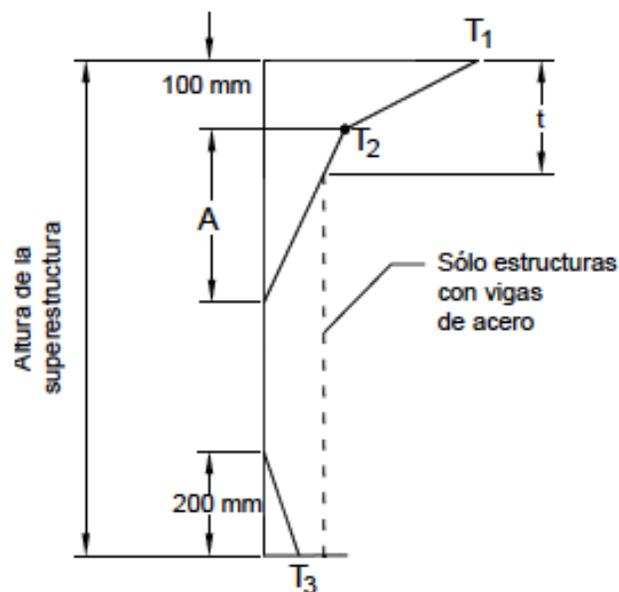
**4.8.3 Temperatura de instalación** — La temperatura de instalación del puente, o de cualquiera de sus componentes, se deberá tomar como la temperatura real del aire promediada en el período de 24 horas inmediatamente anterior al fraguado. O utilizar el promedio de temperatura e instalarlas cuando esta temperatura sea la del momento de colocarlas.

**4.8.4 Variación estacional de la temperatura** — Deberá obtenerse de datos locales o cercanos al emplazamiento del puente.

#### 4.8.5 — Gradiente de temperatura

- (a) Si se considera el gradiente de temperatura, las tensiones internas y deformaciones de la estructura provocadas tanto por gradientes de temperatura positivos como por gradientes negativos se podrán determinar de acuerdo con los requisitos de la presente norma o los procedimientos que recomiendan las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.
- (b) Para la estimación del gradiente de temperatura, deberán tomarse los registros históricos de temperatura de Guatemala dependiendo de la región en la cual se vaya a emplazar el puente.

**Figura 4.8.5-1 — Gradiente de temperatura vertical en superestructuras de concreto y acero**



**4.8.6 Contracción diferencial** — Cuando corresponda, se deberán determinar las deformaciones por contracción diferencial entre concretos de diferentes edades o composiciones, y entre concreto y acero o madera, de acuerdo con los requisitos de esta norma o lo que se define en las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

#### 4.8.7 — Fluencia lenta (creep)

- (a) Las deformaciones por fluencia lenta del concreto y la madera deberán ser de acuerdo con los requisitos de la presente norma o, en su defecto, de las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

(b) Al determinar las solicitaciones y deformaciones provocadas por la fluencia lenta se deberá considerar la dependencia del tiempo y las variaciones de las tensiones de compresión.

#### 4.8.8 — Asentamiento

(a) Se deberán considerar las solicitaciones provocadas por los valores extremos de los asentamientos diferenciales entre subestructuras y entre unidades de una misma subestructura.

(b) El asentamiento se podrá estimar de acuerdo con las Especificaciones AASHTO LFRD.

**4.8.9 Fuerzas friccionantes FR** — Las fuerzas debidas a la fricción se deberán establecer en base a los valores extremos del coeficiente de fricción entre las superficies deslizantes. Cuando corresponda, se deberá considerar la influencia sobre el coeficiente de fricción de la humedad y la posible degradación o contaminación de las superficies de deslizamiento o rotación.

**4.8.10 Colisión de embarcaciones: CV** — Para la determinación y aplicación de la carga de colisión de embarcaciones se utilizarán los valores, fórmulas y procedimientos establecidos en las Especificaciones AASTHO LRFD 2013.

## 4.9 — Determinación de la carga sísmica

### 4.9.1 — Alcances

(a) La presente sección especifica requisitos mínimos para la determinación de la carga sísmica para el análisis y diseño de puentes que se construyan en la República de Guatemala.

(b) Se deberán establecer condiciones de simetría y tener cuidado con los detalles de regularidad para todos los puentes que se proyecten.

#### *Comentario 4.9.1 b*

*Independientemente del tipo de análisis y de las condiciones de diseño, el cuidado de estas variables durante el proyecto permitirá buenas condiciones para determinar y sobrellevar las cargas sísmicas laterales y verticales ante las cuales estará sometida la estructura.*

(c) Los puentes de tipo colgantes, atirantados, cerchas, arcos, puentes móviles (traslacionales) y puentes de un claro mayor a 150 metros, que son de gran importancia y/o con elevado costo deberán ser objeto de un estudio de amenaza sísmica para sus sitios específicos.

(d) Se podrá permitir el uso de dispositivos especiales de disipación de energía y/o amortiguación para mejorar la respuesta sísmica de la estructura, esto con la exclusiva responsabilidad del profesional a cargo del diseño estructural y de los proveedores de los dispositivos respectivos.

#### 4.9.2 — *Definiciones*

- **Demanda de carga** — Es el valor de los desplazamientos máximos en una estructura de puente específica que la carga de diseño sísmico provoca al aplicarse a la misma.
- **Capacidad de la estructura** — Es el valor del desplazamiento máximo que la estructura alcanza antes que se provoque la primera falla que ponga a la estructura en el límite del colapso. Esta capacidad de la estructura considera el efecto de las cargas verticales aplicadas de acuerdo a las combinaciones establecidas previamente.
- **Carga** — Efecto de una aceleración, incluyendo la aceleración de la gravedad, causando una deformación impuesta o un cambio de volumen.
- **Licuefacción** — Pérdida de resistencia al corte de un suelo saturado debida al exceso de presión hidrostática. En suelos no cohesivos saturados, esta pérdida de resistencia puede ser el resultado de cargas aplicadas de manera instantánea o cíclica, particularmente en arenas finas y medianas poco compactas de granulometría uniforme.
- **Modo de vibración** — Forma de deformación dinámica asociada con una frecuencia de vibración.
- **Subestructura** — Componentes estructurales del puente que soportan el tramo horizontal.
- **Suelo normalmente consolidado** — Suelo en el cual la presión efectiva provocada por la sobrecarga actual es igual a la máxima presión que ha experimentado.
- **Sujetadores** — Sistema de cables o varillas de alta resistencia que transfiere fuerzas entre elementos de la superestructura y/o entre la superestructura y elementos de la subestructura bajo cargas sísmicas u otras cargas dinámicas luego de contrarrestar un relajamiento inicial, a la vez que permite movimientos de origen térmico.
- **Superestructura** — Componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal.

- **Superficie de influencia** — Función continua o discretizada sobre el tablero de un puente cuyo valor en un punto, multiplicado por una carga actuando perpendicularmente al tablero en dicho punto, permite obtener la sollicitación deseada.

#### 4.9.3 — Determinación de la demanda sísmica

##### (a) Generalidades

- Para la determinación de la demanda sísmica se utilizarán los valores de aceleración espectral definidos para cada sitio de acuerdo a NSE 2, establecidos para la República de Guatemala.
- En NSE 2 se consideran todas las variables necesarias para la determinación de la demanda sísmica, la cual en conjunto con las cargas gravitatorias que se superponen a la estructura del puente que se esté proyectado, resultará la demanda de carga aplicada a la misma.

(b) **Efectos del sitio del proyecto y condiciones de sismicidad** — Para determinar los efectos del tipo de suelo y las condiciones de sismicidad del sitio se utilizarán los valores de las aceleraciones  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$  que definen los mapas que se presentan en la Norma NSE, junto con los factores de sismicidad definidos para cada sitio en el territorio de la República de Guatemala.

##### (c) Construcción del espectro de diseño

- La construcción del espectro de diseño se desarrollará con los factores de escala  $K_d$ , los cuales quedarán definidos para la demanda en puentes de acuerdo a la Tabla 4.5.5-1 de NSE 2.
- Estos factores aplicados de acuerdo a la clasificación del tipo de puente resultará en las coordenadas espectrales calibradas definidas en la Norma NSE 2 como  $S_{cd}$  y  $S_{1d}$ , con dichas coordenadas se da paso a la construcción del espectro de diseño previo a la afectación del mismo por los coeficientes que determina el tipo de suelo.
- Determinación de la aceleración máxima de diseño:* Para los casos en que sea necesario estimar la aceleración máxima del suelo del sismo de diseño se utilizará la Ecuación 4.5.8-1 de la Norma NSE 2.

##### **Comentario 4.9.3 c**

*Este parámetro es equivalente a la “aceleración pico del suelo” (PGA) ampliamente utilizada como base del espectro de diseño antes de que se empezará a utilizar atenuación de coordenadas espectrales. Este parámetro fija el inicio del espectro de diseño en  $T = 0$*

- (iv) La componente vertical del sismo de diseño se determinará como se muestra a continuación:

---

## FIN DEL CAPÍTULO 4

## CAPÍTULO 5 — REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

**5.1** Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Dirección de Normatividad Vial. "Manual de Diseño de Puentes". Edición 2003. Perú.

**5.2** Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. "Normas para Estructura y Puentes". Tomo 4, Volumen 1. Edición 2009. Paraguay.

**5.3** Ministerio de Vivienda y Urbanismo. "Puentes y Estructuras Afines". Edición 2007. Chile.

**5.4** American Association of State Highway and Transportation Officials. "AASHTO LRFD, Especificaciones de Diseño de Puentes". 6a Edición, 2013.

---

**FIN DEL CAPÍTULO 5**



Con el apoyo de



Financiado por  
Unión Europea  
Protección Civil y  
Ayuda Humanitaria

**Trócaire**  
Working for a just world.

