

SECCIÓN 13 (SI) - BARANDAS

CONTENIDO

13.1	CAMPO DE APLICACIÓN	13-1
13.2	DEFINICIONES	13-1
13.3	SIMBOLOGÍA	13-3
13.4	REQUISITOS GENERALES	13-4
13.5	MATERIALES	13-5
13.6	ESTADOS LÍMITES Y FACTORES DE RESISTENCIA	13-5
13.6.1	Estado Límite de Resistencia	13-5
13.6.2	Estado Límite Correspondiente a Evento Extremo	13-6
13.7	BARANDAS PARA TRÁFICO VEHICULAR	13-6
13.7.1	Barandas	13-6
13.7.1.1	Requisitos Generales	13-6
13.7.1.2	Barandas de Aproximación al Puente	13-7
13.7.1.3	Tratamiento de los Extremos	13-7
13.7.2	Criterios para Seleccionar el Nivel de Ensayo	13-8
13.7.3	Diseño de las Barandas	13-9
13.7.3.1	Requisitos Generales	13-9
13.7.3.1.1	Aplicación de Sistemas Previamente Ensayados	13-10
13.7.3.1.2	Sistemas Nuevos	13-10
13.7.3.2	Altura del Parapeto o Baranda para Tráfico Vehicular	13-10
13.8	BARANDAS PARA PEATONES	13-11
13.8.1	Geometría	13-11
13.8.2	Sobrecargas de Diseño	13-11
13.9	BARANDAS PARA CICLISTAS	13-12
13.9.1	Requisitos Generales	13-12
13.9.2	Geometría	13-12
13.9.3	Sobrecargas de Diseño	13-13
13.10	BARANDAS COMBINADAS	13-14
13.10.1	Requisitos Generales	13-14
13.10.2	Geometría	13-14
13.10.3	Sobrecargas de Diseño	13-14
13.11	CORDONES Y ACERAS	13-14
13.11.1	Requisitos Generales	13-14
13.11.2	Aceras	13-14

13.11.3 Tratamiento de los Extremos y Barandas Divisorias	13-15
A13.1 GEOMETRÍA Y ANCLAJES	13-17
A13.1.1 Separación de los Elementos de las Barandas	13-17
A13.1.2 Anclajes	13-19
A13.2 FUERZAS DE DISEÑO PARA LAS BARANDAS PARA TRÁFICO VEHICULAR	13-19
A13.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LAS BARANDAS	
UTILIZADAS COMO PROBETAS DE ENSAYO	13-21
A13.3.1 Barandas de Hormigón	13-21
A13.3.2 Barandas Formadas por Postes y Vigas	13-24
A13.3.3 Parapeto de Hormigón y Riel Metálico	13-25
A13.3.4 Barreras de Madera	13-28
A13.4 DISEÑO DE LOS VUELOS DEL TABLERO	13-28
A13.4.1 Casos de Diseño	13-28
A13.4.2 Tableros que Soportan Parapetos de Hormigón	13-28
A13.4.3 Tableros que Soportan Barandas Formadas por Postes y Vigas	13-29
A13.4.3.1 Diseño del Vuelo	13-29
A13.4.3.2 Resistencia al Corte por Punzonamiento	13-30

SECCIÓN 13 (SI)

BARANDAS

13.1 CAMPO DE APLICACIÓN

C13.1

Esta sección se aplica a las barandas para puentes nuevos y puentes rehabilitados al punto que se determina que el reemplazo de las barandas es adecuado.

Esta sección indica seis niveles de ensayo para las barandas de puentes y los requisitos para los ensayos de choque asociados a las mismas. También contiene lineamientos para determinar el nivel necesario para satisfacer las Recomendaciones para los tipos de puentes más habituales y lineamientos para el diseño estructural y geométrico de las barandas.

En el Apéndice A se describe un procedimiento para diseñar las muestras o probetas a ensayar para determinar su resistencia al choque. Esta metodología se basa en una aplicación de la teoría de las líneas de fluencia. Para otros usos más allá del diseño de muestras o probetas de ensayo con modos de falla anticipados similares a los ilustrados en las Figuras CA13.3.1-1 y CA13.3.1-2 se debería desarrollar una solución más rigurosa en base a líneas de fluencia o una solución por elementos finitos. Los procedimientos del Apéndice A no se aplican a las barandas para tráfico vehicular instaladas sobre estructuras rígidas tales como muros de sostenimiento o zapatas si se anticipa que el patrón de fisuración se extenderá hasta los elementos de apoyo.

En adelante todos los sistemas de barreras para el tráfico vehicular en puentes se denominarán barandas.

No es necesario que el comportamiento de las barandas de los puentes sea idéntico en toda la red vial. Las barreras nuevas se deben diseñar considerando las necesidades locales y el concepto de nivel de ensayo múltiple, tal como se describe en el Informe 350 del NCHRP.

Las barandas previamente ensayadas al choque deberían mantener la aprobación de su nivel de ensayo; no es necesario ensayarlas para satisfacer las actualizaciones del Informe 350 del NCHRP.

En vista de los recursos finitos que tienen a su alcance los propietarios de puentes, no es razonable esperar que todas las barandas existentes sean actualizadas ni esperar que todas las construcciones existentes se actualicen cada vez que se aprueba un nuevo código. Muchas barandas de puentes existentes han demostrado ser funcionales y sólo será necesario reemplazarlas cuando se las retira para ensanchar el puente.

13.2 DEFINICIONES

Agencia – Empresa responsable autorizada a actuar en representación de un tercero, como por ejemplo una oficina gubernamental, una empresa de consultoría en ingeniería, o del propietario de las instalaciones o estructuras.

Cordón Barrera – Plataforma o bloque que se utiliza para separar una acera para peatones y/o ciclistas sobreelevada por encima del nivel de la calzada; ver Figura 13.7.1.1-1.

Baranda para Ciclistas – Baranda o sistema de defensa, tal como se ilustra en la Figura 13.9.3-1, que constituye una guía física para los ciclistas que cruzan el puente con el objetivo de minimizar la probabilidad de que un ciclista caiga por encima del sistema.

Baranda de Aproximación al Puente – Sistema de guardarríes que precede a la estructura y está unido al sistema de barandas del puente; su intención es evitar que un vehículo impacte contra el extremo de la baranda del puente o parapeto.

Baranda Combinada – Baranda para peatones o ciclistas, tal como se ilustra en las Figuras 13.8.2-1 y 13.9.3-1, sumado a una baranda o sistema de barrera para vehículos resistente al choque.

Barrera de Hormigón – Baranda de hormigón armado que tiene una cara hacia el tráfico que generalmente, aunque no siempre, adopta algún tipo de geometría de seguridad.

Parapeto de Hormigón – Baranda de hormigón armado; generalmente se considera como un muro de hormigón adecuadamente armado.

Ensayo al Choque de las Barandas de Puentes – Realización de una serie de ensayos de impacto a escala real sobre una baranda de puente de acuerdo con las recomendaciones del Informe 350 del NCHRP a fin de evaluar la resistencia y seguridad que ofrece la baranda.

Resistente al Choque – Se dice de un sistema que ha sido ensayado al choque con una matriz de choque y un nivel de ensayo aceptable, o bien de uno que se ha evaluado geométrica y estructuralmente y se ha determinado equivalente a un sistema ensayado al choque.

Fuerza de Diseño – Fuerza estática equivalente que representa la fuerza dinámica aplicada a una baranda por un vehículo que impacta sobre la misma con una velocidad y ángulo de impacto determinados.

Invasión – Invasión de un área prohibida, restringida o limitada de un sistema carretero, como por ejemplo el cruce de un carril de circulación o el impacto sobre un sistema de barrera. También se dice de la ocupación del derecho de paso de una carretera por parte de estructuras no viales u objetos de cualquier tipo o característica.

Zona de Extremo – Área adyacente a cualquier junta abierta de una baranda de hormigón que requiere armadura adicional.

Autovía – Carretera principal de acceso limitado que tiene dos bandas de circulación, una para cada dirección, las cuales pueden o no estar separadas la una de la otra por una franja ancha de terreno o por sistemas de protección y en la cual las intersecciones pueden o no estar resueltas mediante cruces a diferentes niveles.

Cara del Cordón – Superficie vertical o inclinada del lado del cordón ubicado hacia la carretera.

Autopista – Carretera principal de acceso limitado que tiene dos bandas de circulación, una para cada dirección, separadas la una de la otra por una franja ancha de terreno o por sistemas de protección. Las intersecciones están resueltas mediante cruces a diferentes niveles (pasos superiores o inferiores).

Cargas Longitudinales – Fuerzas de diseño horizontales que se aplican de forma paralela a la baranda o barrera.

Baranda de Uso Múltiple – Baranda que se puede utilizar con o sin una acera sobreelevada.

Propietario – Autoridad u oficina gubernamental que representa a los inversores y/o contribuyentes y que es responsable por la seguridad y funcionalidad del diseño de un puente.

Baranda para Peatones – Baranda o sistema de defensa, tal como se ilustra en la Figura 13.8.2-1, que constituye una guía física para los peatones que cruzan el puente con el objetivo de minimizar la probabilidad de que un peatón caiga por encima del sistema.

Poste – Elemento de apoyo vertical o inclinado de una baranda que ancla los elementos de la baranda al tablero.

Elemento de una Baranda – Cualquier componente que forma parte de una baranda. Generalmente se refiere a los elementos longitudinales de las barandas.

Severidad – Caracterización del grado de un evento. Generalmente se asocia con la caracterización de los accidentes como fatalidades, heridas o daños materiales de manera que sea posible establecer un valor monetario para los estudios económicos. También puede referirse a la indexación de la intensidad de un accidente de manera que un sistema de baranda pueda ser evaluado como una medida preventiva o de seguridad.

Velocidades Baja/Alta – Velocidades de los vehículos en km/h. Las velocidades bajas generalmente están asociadas con el tráfico en áreas urbanas o rurales donde las velocidades están bien señalizadas y están por debajo de los 70 km/h. Las velocidades altas generalmente están asociadas con el tráfico en autopistas o autovías donde las velocidades señalizadas son mayores o iguales que 80 km/h.

Baranda para Tráfico Vehicular – Sinónimo de baranda vehicular o baranda para vehículos; se refiere a una baranda instalada sobre un puente o estructura, no a un guardarraíl o barrera divisoria como en otras publicaciones.

Cargas Transversales – Fuerzas de diseño horizontales que se aplican de forma perpendicular a la baranda o barrera.

Vuelco de un Vehículo – Término que se utiliza para describir un accidente en el cual un vehículo rota como mínimo 90° alrededor de su eje longitudinal luego de hacer contacto con una baranda. Este término se utiliza si el vehículo vuelca como resultado de haber hecho contacto con una barrera, no cuando lo hace con otro vehículo.

Recomendaciones – Documento que le proporciona al Diseñador una guía para evaluar los potenciales beneficios operativos y de seguridad de los dispositivos o características para el control del tráfico. Las Recomendaciones no constituyen requisitos absolutos; más bien constituyen una manera de expresar preocupación acerca de los potenciales riesgos para el tráfico.

13.3 SIMBOLOGÍA

- B = separación entre los bordes exteriores de las ruedas de un eje (mm) (A13.2)
- C = capacidad de un poste vertical o resistencia del ala comprimida de un poste en flexión (N-mm) (A13.4.4.3)
- F_L = fuerza de fricción longitudinal a lo largo de la baranda = $0,33 F_t$ (N) (A13.2)
- F_t = fuerza transversal del impacto de un vehículo distribuida en una longitud L_t a una altura H_e sobre el tablero del puente (N) (A13.2)
- F_v = fuerza vertical que representa un vehículo apoyado sobre el riel (N) (A13.2)
- G = altura del centro de gravedad del vehículo por encima del tablero del puente (mm) (A13.2)
- H = altura del muro (mm) (A13.3.1)
- H_R = altura del riel (mm) (13.4)
- H_w = altura del muro (mm) (13.4)
- L = separación de los postes de un tramo simple (mm) (A13.3.2)
- L_c = longitud crítica de falla del muro (mm) (A13.3.1)
- L_L = longitud de distribución longitudinal de la fuerza de fricción F_L , $L_L = L_t$ (mm) (A13.2)
- L_t = longitud de distribución longitudinal de la fuerza de impacto F_t a lo largo de la baranda ubicada a una altura H_e por encima del tablero (mm) (A13.2)
- L_v = distribución longitudinal de la fuerza vertical F_v en la parte superior de la baranda (mm) (A13.2)
- ℓ = longitud de la carga de impacto de un vehículo sobre una baranda o barrera tomada como L_b , L_v o L_L , según corresponda (mm) (A13.3.1)
- M_b = capacidad última de momento de la viga en la parte superior del muro (N-mm) (A13.3.1)
- M_c = resistencia última a la flexión del muro respecto del eje horizontal (N-mm/mm) (A13.3.1)
- M_d = momento del vuelco del tablero (N-mm/mm) (A13.4.3.1)
- M_p = resistencia plástica o para línea de fluencia del riel (N-mm) (A13.3.2)

- M_w = resistencia última a la flexión del muro respecto del eje vertical (N-mm/mm) (A13.3.1)
 P_p = capacidad de carga última de un poste individual (N) (A13.3.2)
 \bar{R} = sumatoria de las componentes horizontales de las resistencias de los rieles (N) (A13.2)
 W = peso del vehículo correspondiente al nivel de ensayo requerido, de la Tabla 13.7.2-1 (N) (13.7.2)
 W_b = ancho de la placa de base o bloque de distribución (mm) (A13.4.3.1)
 X = longitud del vuelo del tablero desde la cara del apoyo hasta la viga o alma exterior (mm) (A13.4.3.1)
 \bar{Y} = altura de \bar{R} por encima del tablero del puente (mm) (A13.2)
 ϕ = factor de resistencia para el estado límite de resistencia especificado en las Secciones 5, 6, 7 y 8 o para el estado límite correspondiente a evento extremo especificado en la Sección 1 (A13.4.3.2)

13.4 REQUISITOS GENERALES

El Propietario deberá desarrollar las Recomendaciones correspondientes al sitio de emplazamiento del puente. Se debería seleccionar una baranda que satisfaga los planteos de las Recomendaciones tanto como resulte posible y práctico.

A lo largo de los bordes de las estructuras se deberán disponer barandas para proteger al tráfico y a los peatones. Para las alcantarillas de longitud igual a la de un puente pueden ser necesarias otras aplicaciones.

Una acera peatonal puede estar separada de la calzada adyacente mediante un cordón barrera, una baranda para tráfico vehicular o una baranda combinada, tal como se indica en la Figura 1. En las autovías urbanas de alta velocidad en las cuales se provee una acera peatonal, el área para circulación peatonal deberá estar separada de la calzada adyacente por medio de una baranda para tráfico vehicular o una baranda combinada.

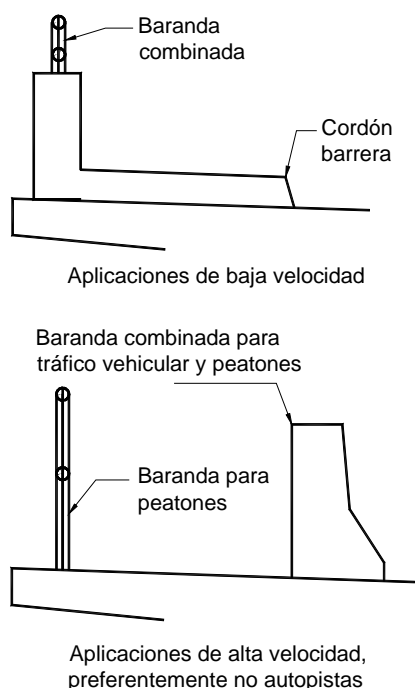
C13.4

En el documento *AASHTO Roadside Design Guide* se pueden obtener lineamientos adicionales aplicables a las alcantarillas de longitud igual a la de un puente.

La siguiente guía indica cuándo se utilizan los diferentes tipos de barandas:

- Se utiliza una baranda para tráfico vehicular cuando el puente será utilizado exclusivamente por tráfico carretero;
- Solamente se utiliza una barrera combinada junto con un cordón y una acera sobreelevados en las carreteras de baja velocidad;
- En las carreteras de alta velocidad, la vía peatonal o ciclovía debería tener tanto una baranda para peatones o ciclistas en su parte externa como una baranda combinada en su parte interna; y
- Se debería considerar el uso de puentes peatonales independientes del puente carretero si la cantidad de tráfico peatonal o algún otro factor de riesgo así lo indican.

Las caras internas de las barandas combinadas que separan las aceras de las calzadas adyacentes funcionan como barandas para peatones o ciclistas. Cuando la altura de estas barandas por encima de la superficie de la acera es menor que la altura mínima requerida para las barandas para peatones o ciclistas, según corresponda, el Diseñador puede agregar elementos adicionales, tales como rieles



metálicos en la parte superior de la baranda combinada. Los elementos adicionales se deben diseñar considerando las fuerzas de diseño para barandas para peatones o ciclistas, según corresponda.

Figura 13.4-1 – Aceras peatonales

Las barandas de los puentes nuevos y su unión al vuelo del tablero se deberán ensayar al choque para confirmar que satisfacen los requisitos estructurales y geométricos de un nivel de ensayo especificado utilizando los criterios de ensayo especificados en el Artículo 13.7.2.

Los dispositivos de señalización para peatones exceden el alcance de estas Especificaciones, no obstante lo cual deberían ser considerados.

El lector encontrará los procedimientos de ensayo para barandas en el Informe 350 del NCHRP, "*Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features.*"

13.5 MATERIALES

A menos que se especifique lo contrario, para los materiales empleados en los sistemas de barandas se deberán aplicar los requisitos de las Secciones 5, 6, 7 y 8.

C13.5

Los factores que se deben considerar al seleccionar los materiales a utilizar en un sistema de barandas incluyen su resistencia última, durabilidad, ductilidad, necesidades de mantenimiento, facilidad de reemplazo y comportamiento a largo plazo.

13.6 ESTADOS LÍMITES Y FACTORES DE RESISTENCIA

13.6.1 Estado Límite de Resistencia

Los estados límites se deberán aplicar utilizando las combinaciones de cargas aplicables indicadas en la Tabla 3.4-1 y las cargas aquí especificadas. Los factores de resistencia para los postes y elementos de las barandas deberán ser como se especifica en los Artículos 5.5.4, 6.5.4, 7.5.4 y 8.5.2.

Las cargas de diseño para las barandas peatonales deberán ser como se especifica en el Artículo 13.8.2. Las

cargas de diseño para las barandas para ciclistas deberán ser como se especifica en el Artículo 13.9.3. Para las barandas combinadas se deberán aplicar las cargas correspondientes a las barandas peatonales o para ciclistas como se especifica en el Artículo 13.10.3. Los vuelos del tablero se deberán diseñar para las combinaciones de cargas correspondientes al estado límite de resistencia especificadas en la Tabla 3.4.1-1.

13.6.2 Estado Límite Correspondiente a Evento Extremo

Las fuerzas que la baranda del puente transmite al tablero se pueden determinar mediante un análisis de la resistencia última del sistema utilizando las cargas indicadas en el Apéndice A. Dichas fuerzas se deberán considerar las cargas mayoradas en el estado límite correspondiente a evento extremo.

13.7 BARANDAS PARA TRÁFICO VEHICULAR

13.7.1 Barandas

13.7.1.1 Requisitos Generales

El propósito principal de las barandas para tráfico vehicular deberá ser contener y corregir la dirección de desplazamiento de los vehículos desviados que utilizan la estructura. Se deberá demostrar que todas las barreras para tráfico vehicular, barandas para tráfico vehicular y barandas combinadas nuevas son estructural y geométricamente resistentes al choque.

Se deberían considerar los siguientes factores:

- Protección de los ocupantes de un vehículo que impacta contra la barrera,
- Protección de otros vehículos próximos al lugar de impacto,
- Protección de las personas y propiedades que se encuentran en las carreteras y otras áreas debajo de la estructura,
- Posibles mejoras futuras de las barandas,
- Relación costo-beneficio de las barandas, y
- Estética y visibilidad de los vehículos circulantes.

Una baranda combinada que satisface las dimensiones indicadas en las Figuras 13.8.2-1 y 13.9.3-1 y que ha sido ensayadas al choque junto con una acera se puede

C13.7.1.1

Entre otros factores, las variaciones del volumen de tráfico, velocidad, composición del tráfico, alineación de la carretera, actividades y condiciones debajo de la estructura se combinan para producir una gran variación en los requisitos de comportamiento de las barreras para tráfico vehicular.

considerar aceptable para utilizar con aceras de ancho mayor o igual que 1000 mm y cordones con alturas hasta la altura utilizada en el ensayo de choque.

Se deberá demostrar que una baranda diseñada para usos múltiples es resistente al choque con o sin la acera. El uso del riel combinado para vehículos y peatones ilustrado en la Figura 1 se deberá limitar a las carreteras en las cuales la velocidad máxima permitida es menor o igual que 70 km/h; además, estas barandas deberán ser ensayadas para los Niveles de Ensayo 1 o 2.

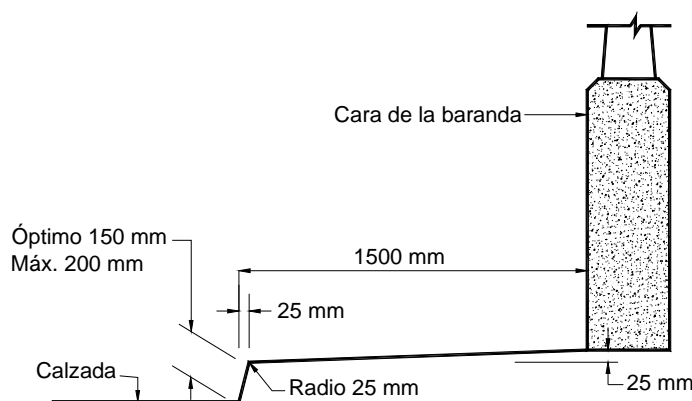


Figura 13.7.1.1-1 – Típica acera sobreelevada

13.7.1.2 Barandas de Aproximación al Puente

Se debería proveer un sistema de guardarraíles al inicio de todas las barandas de puentes en las zonas rurales con tráfico de alta velocidad.

Las barandas de aproximación al puente deberían incluir una transición del guardarraíl a la baranda rígida del puente que sea capaz de proveerle resistencia lateral a un vehículo desviado. El borde de ataque del guardarraíl en la aproximación al puente deberá tener un extremo resistente al choque.

13.7.1.3 Tratamiento de los Extremos

En las zonas rurales con tráfico de alta velocidad, el

Debido a que recientemente se han realizado nuevos ensayos sobre aceras, en general se acepta para los cordones de las aceras una altura máxima de 200 mm.

El documento *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de AASHTO recomienda utilizar cordones barrera exclusivamente cuando las velocidades son menores o iguales que 70 km/h. Para velocidades mayores o iguales que 80 km/h, para proteger a los peatones se puede utilizar una barrera para separarlos del tráfico vehicular.

No es necesario ensayar sin la acera aquellas barandas que solamente se utilizarán en una acera.

C13.7.1.2

En las áreas urbanas o cuando las calles urbanas y/o aceras no permiten utilizar transiciones o extremos resistentes al choque se deberían considerar las siguientes medidas:

- Prolongar la baranda del puente o el guardarraíl de manera que no sea posible que un vehículo pueda invadir cualquier sistema carretero ubicado debajo del puente,
- Utilizar un cordón barrera,
- Limitar la velocidad,
- Señalizar las intersecciones, y
- Proveer áreas de recuperación.

Las instalaciones de drenaje en los extremos de los puentes se deberían considerar parte integral del diseño de la transición de la barrera.

C13.7.1.3

Si la baranda de aproximación al puente está conectada

extremo de un parapeto o baranda por el cual se aproxima el tráfico deberá tener una configuración resistente al choque o bien deberá estar protegido mediante una barrera para tráfico vehicular resistente al choque.

13.7.2 Criterios para Seleccionar el Nivel de Ensayo

Se deberá especificar uno de los niveles de ensayo siguientes:

- TL-1 – Nivel de Ensayo Uno: Generalmente aceptable para las zonas de trabajo en las cuales las velocidades permitidas son bajas y para las calles locales de muy bajo volumen y baja velocidad;
- TL-2 – Nivel de Ensayo Dos: Generalmente aceptable para las zonas de trabajo y la mayor parte de las calles locales y colectoras en las cuales las condiciones del sitio de emplazamiento son favorables; también donde se anticipa la presencia de un pequeño número de vehículos pesados y las velocidades permitidas son reducidas;
- TL-3 – Nivel de Ensayo Tres: Generalmente aceptable para un amplio rango de carreteras principales de alta velocidad en las cuales la presencia de vehículos pesados es muy reducida y las condiciones del sitio de emplazamiento son favorables;
- TL-4 – Nivel de Ensayo Cuatro: Generalmente aceptable para la mayoría de las aplicaciones en carreteras de alta velocidad, autovías, autopistas y carreteras interestatales en las cuales el tráfico incluye camiones y vehículos pesados;
- TL-5 – Nivel de Ensayo Cinco: Generalmente aceptable para las mismas aplicaciones que el TL-4 y también cuando el tráfico medio diario contiene una proporción significativa de grandes camiones o cuando las condiciones desfavorables del sitio de emplazamiento justifican un mayor nivel de resistencia de las barandas; y
- TL-6 – Nivel de Ensayo Seis: Generalmente aceptable para aplicaciones en las cuales se anticipa la presencia de camiones tipo tanque o cisterna u otros vehículos similares de centro de gravedad elevado, particularmente cuando este tráfico se combina con condiciones desfavorables del sitio de emplazamiento.

a un sistema de barandas de la carretera, ésta puede ser continua con el sistema de aproximación al puente, y solamente será necesario utilizar una transición de un sistema flexible a un sistema rígido.

C13.7.2

Los seis niveles de ensayo aquí listados se corresponden con los seis niveles de ensayo indicados en el Informe 350 del NCHRP, *"Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features."* Los documentos *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO 2001) y *Roadside Design Guide* (AASHTO 2002) serán de gran ayuda a la hora de seleccionar un sistema de barandas para un puente.

Los ensayos individuales han sido diseñados para evaluar uno o más de los principales factores que afectan el comportamiento de la baranda del puente, los cuales incluyen el comportamiento estructural, el riesgo para los ocupantes del vehículo y el comportamiento del vehículo de ensayo luego del impacto. En general, los niveles de ensayo más bajos se aplican para evaluar y seleccionar barandas de puente a utilizar en segmentos de carreteras de bajo nivel de servicio y ciertos tipos de zonas de trabajo. Los niveles de ensayo más elevados se aplican para evaluar y seleccionar barandas de puente a utilizar en carreteras de nivel de servicio más elevado o en ubicaciones que exigen un comportamiento especial, superior, de las barandas del puente. En este sentido, las barandas TL-4 satisfarán la mayoría de los requisitos de diseño para carreteras interestatales.

El nivel TL-5 se utiliza para tomar en cuenta la presencia de un número elevado de vehículos tipo camión con remolque para satisfacer los requisitos de diseño en aquellos casos en los cuales las barandas TL-4 no se consideran adecuadas. También se utiliza cuando las condiciones del sitio de emplazamiento son tales que el vuelco o la penetración de un vehículo más allá de la baranda podría tener consecuencias severas.

El nivel TL-6 se utiliza para tomar en cuenta la presencia de camiones tipo tanque o cisterna para satisfacer los requisitos de diseño en aquellos casos en los cuales estos vehículos, los cuales tienen su centro de gravedad a mayor altura, han sufrido vuelcos o penetraciones en el pasado. También se utiliza cuando las condiciones desfavorables del sitio de emplazamiento indican la necesidad de contar con barandas que tengan un nivel de resistencia muy elevado.

Será responsabilidad de la agencia que utiliza el puente determinar cuál de los niveles de ensayo es más adecuado para el predio donde está ubicado el puente.

Los criterios de ensayo para el nivel de ensayo seleccionado deberán corresponder a los pesos y velocidades de los vehículos y los ángulos de impacto especificados en la Tabla 1.

Entre las condiciones desfavorables de un sitio de emplazamiento se pueden mencionar un radio de curvatura reducido, la presencia de pendientes descendientes pronunciadas combinadas con una curva horizontal y las condiciones meteorológicas adversas.

Las agencias deberían desarrollar lineamientos objetivos para aplicar a las barandas de los puentes. Estos lineamientos deberían tomar en cuenta factores tales como las condiciones del tráfico, el volumen y la composición del tráfico, el costo y el comportamiento en servicio y el costo del ciclo de vida de las barandas existentes.

Estos criterios, incluyendo las características y la tolerancia de otros tipos de vehículos, se describen detalladamente en el Informe 350 del NCHRP.

Tabla 13.7.2.1 – Niveles de ensayo para las barandas de puentes y criterios para los ensayos de choque

Características de los vehículos	Pequeños automóviles		Camionetas (Pickups)	Camión semi-remolque	Camión con remolque		Camión cisterna
W (N)	7000	8000	20.000	80.000	220.000	355.000	355.000
B (mm)	1700	1700	2000	2300	2450	2450	2450
G (mm)	550	550	700	1250	1630	1850	2050
Ángulo de impacto, θ	20°	20°	25°	15°	15°	15°	15°
Nivel de Ensayo	VELOCIDADES DE ENSAYO (km/h)						
TL-1	50	50	50	N/A	N/A	N/A	N/A
TL-2	70	70	70	N/A	N/A	N/A	N/A
TL-3	100	100	100	N/A	N/A	N/A	N/A
TL-4	100	100	100	80	N/A	N/A	N/A
TL-5	100	100	100	N/A	N/A	80	N/A
TL-6	100	100	100	N/A	N/A	N/A	80

13.7.3 Diseño de las Barandas

13.7.3.1 Requisitos Generales

Normalmente una baranda para tráfico vehicular debería tener una cara de riel continua y hacia el lado del tráfico. Los postes de acero que sostienen los rieles se deberían estar retirados de la cara del riel. Se debería considerar la continuidad estructural de los rieles y anclajes de los extremos.

Un sistema de barandas y su conexión al tablero sólo podrá ser aprobado una vez que mediante ensayos de choque se haya determinado que son satisfactorios para el nivel de ensayo deseado.

C13.7.3.1

Las salientes o depresiones en las aberturas del riel pueden ser aceptables, siempre que su espesor, profundidad o geometría no eviten que la baranda satisfaga los criterios de evaluación del ensayo de choque.

13.7.3.1.1 *Aplicación de Sistemas Previamente Ensayados*

Se podrán utilizar sistemas de barandas resistentes al choque sin realizar análisis y/o ensayos adicionales, siempre y cuando la instalación propuesta no tenga características que están ausentes en la configuración ensayada y que pudieran hacer que el sistema propuesto no se comporte como el sistema ensayado.

13.7.3.1.2 *Sistemas Nuevos*

Se podrán utilizar sistemas de barandas nuevos, siempre y cuando mediante ensayos de choque a escala real se demuestre que su comportamiento es aceptable.

La probeta utilizada para realizar el análisis de choque para un sistema de barandas se podrá diseñar de manera que resista las cargas aplicadas de acuerdo con el Apéndice A de la presente sección o de acuerdo con el Informe 350 del NCHRP y sus revisiones.

Se deberán tomar precauciones para transferir las cargas del sistema de barandas al tablero. Las cargas que actúan sobre las barandas se deberán tomar del Apéndice A de la presente sección.

A menos que durante el procedimiento del ensayo de choque se pueda demostrar que un espesor menor resulta satisfactorio, el mínimo espesor de borde de los vuelos de tablero de hormigón se deberá tomar como:

- Para vuelos de tablero de hormigón que soportan un sistema de postes montados en el tablero: 200 mm
- Para sistemas de postes montados lateralmente: 300 mm
- Para vuelos de tablero de hormigón que soportan paramentos o barreras de hormigón: 200 mm

13.7.3.2 **Altura del Parapeto o Baranda para Tráfico Vehicular**

Las barandas para tráfico vehicular deberán tener como mínimo una altura de 685 mm si se trata de barandas TL-3, 810 mm si se trata de barandas TL-4 y 2290 si se trata de barandas TL-6.

El labio inferior de 75 mm no se deberá aumentar en anticipación de posibles sobrecapas futuras.

La mínima altura de un parapeto de hormigón de cara vertical deberá ser de 685 mm. La altura de otros tipos de barandas combinadas de metal y hormigón no deberá ser menor que 685 mm y se deberá demostrar que son

C13.7.3.1.1

Cuando se modifica algún detalle de un sistema de barandas que ya ha sido ensayado y aprobado o cuando se introduce alguna modificación, para determinar si es necesario o no realizar ensayos de choque adicionales el Ingeniero deberá aplicar su criterio profesional.

C13.7.3.1.2

El diseño preliminar del tablero del puente debería satisfacer los requisitos de la Sección A13.1.2. Durante el programa de ensayos de la baranda se deberá determinar si la armadura del tablero es adecuada para distribuir las cargas de anclaje de los postes al tablero. Si el programa de ensayo de la baranda modela satisfactoriamente el tablero del puente, los daños al borde en el tablero se podrán evaluar en el momento de la realización de los ensayos.

En los vuelos de tablero correctamente diseñados los mayores daños provocados por el impacto de los vehículos ocurren en secciones cortas de las áreas de la losa en las cuales se produce el impacto contra la barrera.

C13.7.3.2

Mediante ensayos de choque se ha determinado que estas alturas son satisfactorias.

Para anticipar la posible colocación de sobrecapas futuras sobre el tablero se han utilizado invasiones de 50 mm, dejando un labio de 25 mm. Mediante ensayos de choque se ha determinado que esta solución es satisfactoria.

adecuadas mediante ensayos de choque utilizando el nivel de ensayo deseado.

La mínima altura de las barandas para peatones o ciclistas se debería medir por encima de la superficie de la acera o ciclovía.

Los mínimos requisitos geométricos para las barandas combinadas más allá de los exigibles para satisfacer los requisitos del ensayo de choque se deberán tomar como se especifica en los Artículos 13.8, 13.9 y 13.10.

13.8 BARANDAS PARA PEATONES

13.8.1 Geometría

C13.8.1

La mínima altura de las barandas para peatones deberá ser de 1060 mm, medidos a partir de la cara superior de la acera.

Una baranda para peatones puede estar compuesta por elementos horizontales y/o verticales. La abertura libre entre los elementos deberá ser tal que no permita el paso de una esfera de 150 mm de diámetro.

Si se utilizan tanto elementos horizontales como verticales, la abertura libre de 150 mm se deberá aplicar a los 685 mm inferiores de la baranda, mientras que la separación en la parte superior deberá ser tal que no permita el paso de una esfera de 200 mm de diámetro. Se debería proveer un riel de seguridad o un cordón al nivel de la superficie de rodamiento. Las barandas se deberían proyectar más allá de la cara de los postes tal como se ilustra en la Figura A13.1.1-2.

Las separaciones arriba indicadas no se deben aplicar a las barandas tipo cerco eslabonado o de malla metálica ni a sus postes. En este tipo de barandas las aberturas no deberán ser mayores que 50 mm.

El tamaño de las aberturas debería poder retener una lata de refrescos de tamaño estándar.

13.8.2 Sobrecargas de Diseño

C13.8.2

La sobrecarga de diseño para las barandas para peatones se deberá tomar como $w = 0,73$ N/mm, tanto transversal como verticalmente, actuando en forma simultánea. Además, cada elemento longitudinal deberá estar diseñado para una carga concentrada de 890 N, la cual deberá actuar simultáneamente con las cargas previamente indicadas en cualquier punto y en cualquier dirección en la parte superior del elemento longitudinal.

Los postes de las barandas para peatones se deberán diseñar para una sobrecarga concentrada de diseño aplicada transversalmente en el centro de gravedad del elemento longitudinal superior o bien, en el caso de las barandas cuya altura total es mayor que 1500 mm, en un punto ubicado 1500 mm por encima de la superficie superior de la acera. El valor de la sobrecarga concentrada de diseño para los postes, P_{LL} , en N, se deberá tomar

Estas sobrecargas se aplican a las barandas. La sobrecarga peatonal especificada en el Artículo 3.6.1.6 se aplica a la acera.

como:

$$P_{LL} = 890 + 0,73 L \quad (13.8.2-1)$$

donde:

L = separación entre postes (mm)

La carga de diseño para los cercos eslabonados o de malla metálica deberá ser igual a $7,2 \times 10^{-4}$ MPa actuando de forma normal a la totalidad de la superficie.

Las cargas se deberán aplicar como se ilustra en la Figura 1, en la cual las geometrías de los elementos de las barandas sirven apenas a título ilustrativo. Se pueden utilizar cualesquiera de los materiales o combinaciones de materiales especificados en el Artículo 13.5.

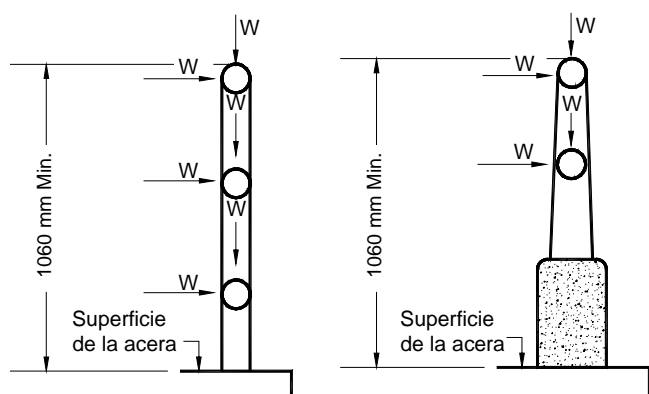


Figura 13.8.2-1 – Cargas que actúan sobre las barandas para peatones. (A utilizar en el borde exterior de una acera cuando el tráfico vehicular está separado del tráfico peatonal mediante una baranda para tráfico vehicular. Las geometrías de las barandas son simplemente ilustrativas)

13.9 BARANDAS PARA CICLISTAS

13.9.1 Requisitos Generales

Se deberán utilizar barandas para ciclistas en aquellos puentes específicamente diseñados para soportar tráfico ciclista y en aquellos puentes en los cuales se considera necesario contar con una protección específica para los ciclistas.

13.9.2 Geometría

C13.9.2

La altura de las barandas para ciclistas no deberá ser menor que 1370 mm, medidos a partir de la cara superior de la superficie de rodamiento.

La altura de las zonas superior e inferior de las

barandas para ciclistas deberán ser de al menos 685 mm. En las zonas superior e inferior la separación de los rieles deberá satisfacer los requisitos correspondientes del Artículo 13.8.1.

Si se consideran necesarios, los rieles de fricción que se unen a la baranda o cerco para evitar que los ciclistas se enganche deben tener una profundidad suficiente para proteger bicicletas con una amplia variedad de alturas de manubrio.

Si se utilizan mallas, cercos o caras macizas se podrá reducir el número de rieles.

La necesidad de contar o no con rieles de fricción es un tema controversial entre los ciclistas.

13.9.3 Sobrecargas de Diseño

Si el riel está ubicado a una altura mayor que 1370 mm por encima de la superficie de rodamiento, las cargas de diseño deberán ser determinadas por el Diseñador. Las cargas de diseño para los 1370 mm inferiores de las barandas para ciclistas no deberán ser menores que las especificadas en el Artículo 13.8.2, excepto que en el caso de las barandas cuya altura total es mayor que 1370 mm la sobrecarga de los postes se deberá aplicar en un punto ubicado a una altura de 1370 mm de la superficie de rodamiento.

Las cargas se deberán aplicar como se ilustra en la Figura 1. Se pueden utilizar cualesquiera de los materiales o combinaciones de materiales especificados en el Artículo 13.5.

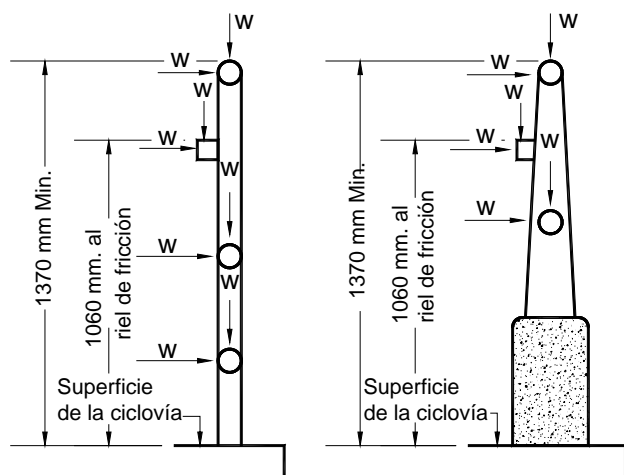


Figura 13.9.3-1 – Cargas que actúan sobre las barandas para ciclistas. (A utilizar en el borde exterior de una ciclovía cuando el tráfico vehicular está separado del tráfico ciclista mediante una baranda para tráfico vehicular. Las geometrías de las barandas son simplemente ilustrativas)

13.10 BARANDAS COMBINADAS

13.10.1 Requisitos Generales

Las barandas combinadas deberán satisfacer los requisitos correspondientes ya sea a las barandas para peatones o a las barandas para ciclistas, tal como se especifican en las Secciones 13.8 y 13.9, según corresponda. La parte de la baranda combinada correspondiente al tráfico vehicular deberá satisfacer los requisitos de la Sección 13.7.

13.10.2 Geometría

Los requisitos referentes a la geometría de las barandas especificados en los Artículos 13.7, 13.8 y 13.9 se deberán aplicar a las partes correspondientes de las barandas combinadas.

13.10.3 Sobrecargas de Diseño

Las sobrecargas de diseño, especificadas en las Secciones 13.8 y 13.9, no se deberán aplicar simultáneamente con las cargas de impacto vehiculares.

13.11 CORDONES Y ACERAS

13.11.1 Requisitos Generales

Las mediciones horizontales del ancho de la calzada se deberán tomar a partir de la parte inferior de la cara del cordón. Un cordón de una acera ubicado del lado de una baranda de un puente correspondiente al tráfico se deberá considerar parte integral de la baranda y estará sujeto a los requisitos sobre ensayo de choque especificados en la Sección 13.7.

13.11.2 Aceras

Cuando en los accesos carreteros se utilizan cordones cuneta con acera, la altura del cordón para las aceras sobreelevadas en el puente no debería ser mayor que 200 mm. Si se requiere un cordón barrera, la altura del cordón no debería ser menor que 150 mm. Si la altura del cordón en el puente difiere de la altura del cordón fuera del puente se deberá proveer una transición uniforme en una distancia mayor o igual que 20 veces el cambio de altura.

C13.11.2

Generalmente no se proveen aceras sobreelevadas en aquellos puentes en los cuales el acceso al puente no tiene un cordón para peatones o si la estructura no ha sido diseñada para su uso por parte de peatones.

El lector puede consultar recomendaciones acerca del ancho de las aceras en la Figura 13.7.1.1-1 y en la publicación *AASHTO A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.

Durante la etapa constructiva se deberán aplicar las mismas consideraciones respecto de proveer una transición para las rampas que unen la acera del puente y la superficie de acceso.

13.11.3 Tratamiento de los Extremos y Barandas Divisorias

El tratamiento de los extremos de cualquier baranda o barrera para tráfico vehicular deberá satisfacer los requisitos especificados en las Secciones 13.7.1.2 y 13.7.1.3.

REFERENCIAS

AASHTO. 2001. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, DC.

_____. 2002. *Roadside Design Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, DC.

Alberson, D.C, R.A. Zimmer y W.L. Menges. 1997. "NCHRP Report 350 Compliance Test 5-12 of the 1.07-m Vertical Wall Bridge Railing." *FHWA/RD-96/199*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

Buth, C.E., W.L. Campise, L.I. Griffin, M.L. Love y D.L. Sicking. 1986. "Performance Limits of Longitudinal Barriers." *FHWA/RD-86/153*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

Ross, H.E, D.L. Sicking, R.A. Zimmer y J.D. Michie. 1993. "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features." *NHCRP Report 350*. TRB, National Research Council, Washington, DC.

APÉNDICE A

A13.1 GEOMETRÍA Y ANCLAJES

A13.1.1 Separación de los Elementos de las Barandas

Para las barandas para tráfico vehicular, los criterios para definir la máxima abertura libre debajo del riel inferior, c_b , el retiro de los postes, S , y la máxima abertura entre rieles, c , se deberán basar en los criterios siguientes:

- Los anchos de contacto de los rieles de las barandas típicas se pueden tomar como se ilustra en la Figura 1;
- El ancho total del riel o los rieles en contacto con el vehículo, $\sum A$, no deberá ser menor que 25 por ciento de la altura de la baranda;
- En el caso de las barandas con postes, la abertura libre vertical, c , y el retiro de los postes, S , deberá estar dentro o por debajo del área sombreada ilustrada en la Figura 2; y
- En el caso de las barandas con postes, la combinación de $(\sum A/H)$ y el retiro de los postes, S , deberá estar dentro o por encima del área sombreada ilustrada en la Figura 3.

CA13.1

El retiro de los postes, especificado a partir de la cara de los rieles, para diferentes geometrías de postes se basa en una cantidad limitada de datos de ensayos de choque. Como parte del programa de ensayos de choque se debería evaluar el potencial de enganchar las ruedas que involucra un determinado diseño en particular.

El retiro de los postes, S , ilustrado en la Figura 2 para postes de diferentes geometrías, reconoce la tendencia que tienen algunas geometrías de enganchar las ruedas de los vehículos. Las diferentes definiciones del retiro, S , implican que, a igualdad de los demás factores, el espacio entre un riel y la cara de un poste rectangular será mayor que la distancia entre un riel y la cara de un poste circular.

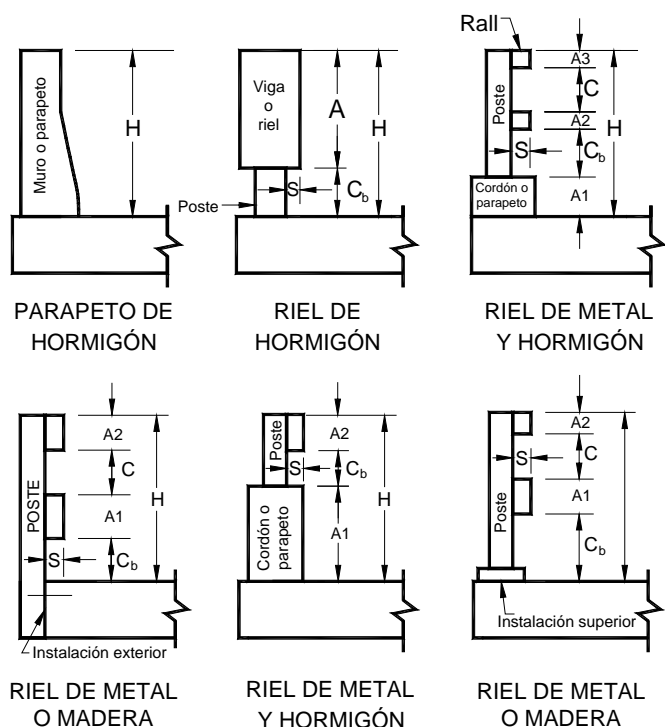


Figura A13.1.1-1 – Típicas barandas para tráfico vehicular

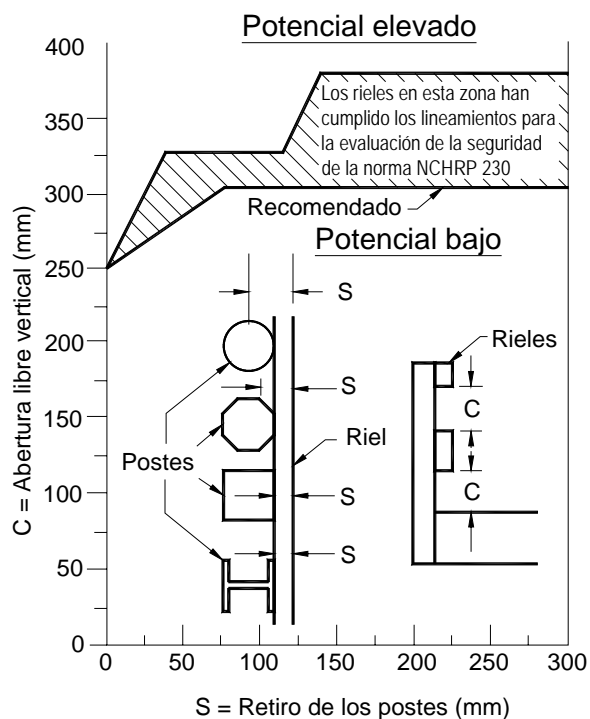


Figura A13.1.1-2 – Potencial de impacto de las ruedas, paragolpes o capó contra los postes

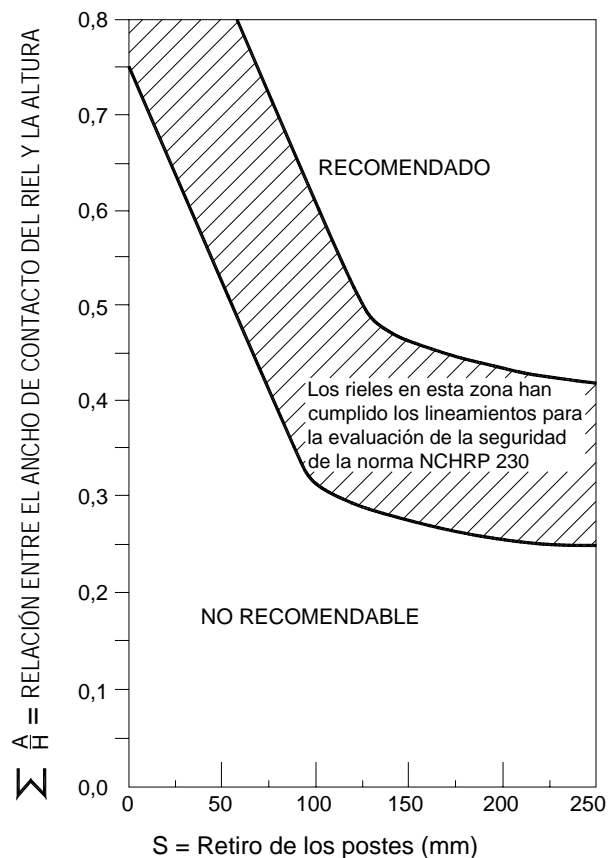


Figura A13.1.1-3 – Criterios para determinar el retiro de los postes

La máxima abertura vertical libre entre rieles o postes sucesivos deberá ser como se especifica en las Secciones 13.8, 13.9 y 13.10.

A13.1.2 Anclajes

La tensión de fluencia de los bulones de anclaje utilizados en las barandas de acero se deberá desarrollar completamente mediante adherencia, ganchos, fijación a placas embebidas en hormigón o cualquier combinación de estos mecanismos.

Las armaduras de las barandas de hormigón deberán tener una longitud embebida suficiente para desarrollar la tensión de fluencia.

A13.2 FUERZAS DE DISEÑO PARA LAS BARANDAS PARA TRÁFICO VEHICULAR

A menos que en la presente se establezca lo contrario, se deberán aplicar el estado límite correspondiente a evento extremo y las combinaciones de cargas de la Tabla 3.4.1-1 correspondientes.

Las fuerzas de diseño para las barandas y los criterios geométricos a utilizar al desarrollar probetas de ensayo para el programa de ensayos de choque se deberían tomar como se especifica en la Tabla 1. No es necesario aplicar las cargas transversales y longitudinales indicadas en la Tabla 1 simultáneamente con las cargas verticales.

La altura efectiva de la fuerza de vuelco de un vehículo se toma de la siguiente manera:

$$H_e = G - \frac{WB}{2F_t} \quad (\text{A13.2-1})$$

donde:

G = altura del centro de gravedad del vehículo por encima del tablero del puente, tal como se especifica en la Tabla 13.7.2-1 (mm)

W = peso del vehículo correspondiente al nivel de ensayo requerido, tal como se especifica en la Tabla 13.7.2-1 (N)

B = separación entre los bordes exteriores de las ruedas de un eje, tal como se especifica en la Tabla 13.7.2-1 (mm)

F_t = fuerza transversal correspondiente al nivel de ensayo requerido, tal como se especifica en la Tabla 1 (N)

CA13.1.2

Como agente de adherencia no corrosivos se puede utilizar mortero de cemento, epoxi o un compuesto de fosfato de magnesio. No se deberían utilizar morteros con azufre ni morteros expansivos.

Algunos de los agentes de adherencia disponibles en el mercado tienen propiedades corrosivas; se deben evitar estos agentes.

La longitud de anclaje de las barras de armadura se especifica en la Sección 5.

CA13.2

La Figura C1 ilustra la simbología utilizada en las Ecuaciones 1 y 2.

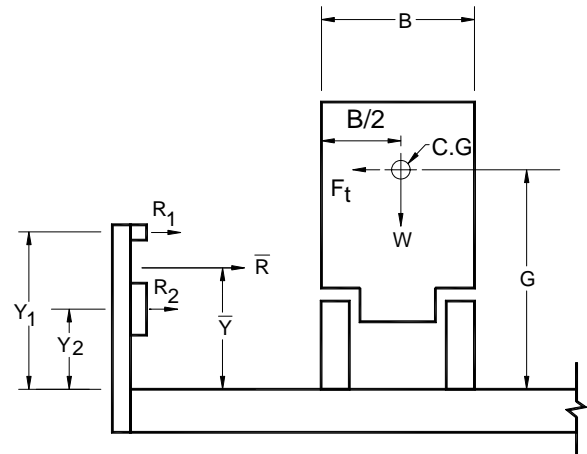


Figura CA13.2-1 – Baranda para tráfico vehicular

Si la resistencia total, \bar{R} , de una baranda formada por postes y vigas con múltiples rieles es significativamente mayor que la carga aplicada, F_t , se podrá reducir la resistencia, R_i , del riel inferior utilizada en los cálculos.

El valor reducido de \bar{R} aumentará el valor calculado de \bar{Y} . La resistencia ideal total reducida del riel y su altura efectiva deben satisfacer las Ecuaciones 2 y 3.

Las barandas se deberán dimensionar de manera que:

$$\bar{R} \geq F_t \quad (\text{A13.2-2})$$

$$\bar{Y} \geq H_e \quad (\text{A13.2-3})$$

para lo cual:

$$\bar{R} = \sum R_i \quad (\text{A13.2-4})$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum (R_i / Y_i)}{\bar{R}} \quad (\text{A13.2-5})$$

y donde:

R_i = resistencia del riel (N)

Y_i = distancia desde el tablero del puente hasta el riel i (mm)

Todas las fuerzas se deberán aplicar a los elementos longitudinales. La distribución de las cargas longitudinales a los postes deberá ser consistente con la continuidad de los elementos de los rieles. La distribución de las cargas longitudinales deberá ser consistente con el mecanismo de falla supuesto para la baranda.

Se ha demostrado que la Ecuación 1 permite predecir razonablemente la altura efectiva requerida para evitar vuelcos.

Si la carga de diseño ubicada en H_e se encuentra en un espacio entre rieles, esta carga se debería distribuir proporcionalmente entre los elementos por encima y por debajo de H_e de manera tal que $Y \geq H_e$.

A modo de ejemplo del significado de los datos incluidos en la Tabla 1, la longitud de 1220 mm para L_t y L_L corresponde a la longitud de contacto significativo entre vehículo y baranda observada en filmaciones de ensayos de choque. La longitud de 1070 mm para las barandas TL-4 corresponde al diámetro de los neumáticos del eje trasero del camión. La longitud de 2440 mm para barandas TL-5 y TL-6 corresponde a la longitud de los ejes tandem traseros: dos neumáticos de 1070 mm de diámetro más 300 mm entre los mismos.

F_v , es decir el peso de un vehículo ubicado encima del riel del puente, se distribuye en la longitud del vehículo en contacto con el riel, L_v .

En el caso de las barandas de hormigón, la Ecuación 1 da como resultado una altura teórica requerida, H , igual a 857 mm para el Nivel de Ensayo TL-4. Sin embargo, como se indica en la Tabla 1, se consideró que una baranda de 810 mm de altura es aceptable, ya que se han construido numerosas barandas de esta altura, las cuales parecen estar comportándose satisfactoriamente.

La altura mínima, H , listada para TL-1, TL-2 y TL-3 se basa en la mínima altura de baranda utilizada en el pasado. La mínima altura efectiva, H_e , para TL-1 corresponde a una estimación en base a la limitada cantidad de información disponible para este nivel de ensayo.

La altura mínima, H , de 1070 mm indicada en la Tabla 1 para TL-5 se basa en la altura utilizada para barreras de hormigón ensayadas al choque exitosamente involucrando sólo los neumáticos del camión. Para las barandas de puentes formadas por postes y vigas metálicas puede ser prudente aumentar esta altura sumándole 305 mm de manera de considerar también el lecho del camión.

La mínima altura, H , indicada en la Tabla 1 para TL-6 es la altura requerida para involucrar el lateral del tanque de acuerdo con lo determinado mediante ensayos de choque.

Tabla A13.2-1 – Fuerzas de diseño para las barreras para tráfico vehicular

Fuerzas de diseño y simbología	Niveles de Ensayo para las Barandas					
	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6
Transversal F_t (N)	60.000	120.000	240.000	240.000	550.000	780.000
Longitudinal F_L (N)	20.000	40.000	80.000	80.000	183.000	260.000
Vertical descendente F_v (N)	20.000	20.000	20.000	80.000	355.000	355.000
L_t y L_L (mm)	1220	1220	1220	1070	2440	2440
L_v (mm)	5500	5500	5500	5500	12.200	12.200
H_e (mín.) (mm)	460	510	610	810	1070	1420
Mínima altura del riel H (mm)	685	685	685	810	1070	2290

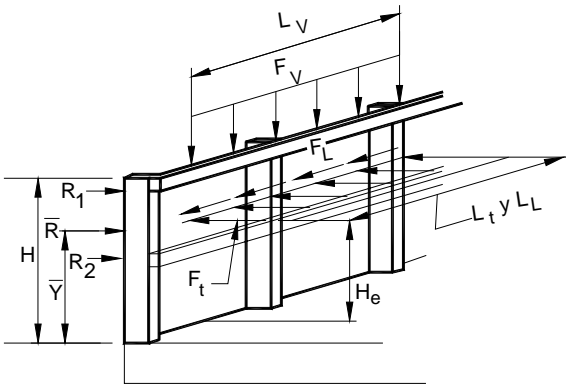


Figura A13.2-1 – Fuerzas de diseño en una baranda metálica, ubicación en altura y longitud de distribución horizontal

A13.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LAS BARANDAS UTILIZADAS COMO PROBETAS DE ENSAYO

A13.3.1 Barandas de Hormigón

Para las barreras o parapetos de hormigón armado y pretensado se podrán utilizar análisis por líneas de fluencia y diseño por resistencia.

La Figura 1 ilustra las fuerzas de diseño listadas en la Tabla 1 aplicadas a una baranda formada por postes y vigas. Esta figura se incluye exclusivamente a título ilustrativo. Las fuerzas y longitudes de distribución ilustradas se aplican para cualquier tipo de baranda.

CA13.3.1

El análisis por líneas de fluencia ilustrado en las Figuras C1 y C2 incluye sólo la capacidad flexional última del elemento de hormigón. Para resistir el corte y/o las

La resistencia nominal de la branda frente a la carga transversal, R_w , se puede determinar utilizando un enfoque por líneas de fluencia de la siguiente manera:

- Para impactos dentro de un segmento de muro:

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t} \right) \left(8M_b + 8M_w + \frac{M_c L_c^2}{H} \right) \quad (\text{A13.3.1-1})$$

La longitud crítica de muro en la cual se produce el mecanismo de la línea de fluencia, L_c , se deberá tomar como:

$$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2} \right)^2 + \frac{8H(M_b + M_w)}{M_c}} \quad (\text{A13.3.1-2})$$

- Para impactos en el extremo de un muro o en una junta:

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t} \right) \left(M_b + M_w + \frac{M_c L_c^2}{H} \right) \quad (\text{A13.3.1-3})$$

$$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2} \right)^2 + \frac{H(M_b + M_w)}{M_c}} \quad (\text{A13.3.1-4})$$

donde:

F_t = fuerza transversal especificada en la Tabla A13.2-1 que se supone actuando en la parte superior de un muro de hormigón (N)

H = altura del muro (mm)

L_c = longitud crítica del patrón de falla por líneas de fluencia (mm)

L_t = longitud de distribución longitudinal de la fuerza de impacto F_t (mm)

R_w = resistencia transversal total de la baranda (N)

M_b = resistencia flexional adicional de la viga acumulativa con M_w , si corresponde, en la parte superior del muro (N-mm)

M_c = resistencia flexional de los muros en voladizo respecto de un eje paralelo al eje longitudinal del puente (N-mm/mm)

fuerzas de tracción diagonal se deberían disponer estribos o zunchos.

La resistencia última a flexión, M_s , del tablero de puente o la losa se debería determinar reconociendo que el tablero también resiste una fuerza de tracción provocada por la componente de las fuerzas de impacto, F_t .

En este análisis se supone que el patrón de falla por líneas de fluencia ocurre exclusivamente en el parapeto y no se propaga hacia el tablero. Esto significa que el tablero debe tener suficiente resistencia para obligar a que el patrón de falla se mantenga dentro del parapeto. Si el patrón de falla se extiende hacia el tablero, las expresiones para calcular la resistencia del parapeto pierden su validez.

El análisis también se basa en la hipótesis de que existe una longitud suficiente de parapeto para lograr el patrón de falla ilustrado. Si el parapeto tiene poca longitud es posible que se forme una única línea de fluencia a lo largo de la unión entre el parapeto y el tablero. Este tipo de patrón de falla es admisible; la resistencia del parapeto se debería calcular utilizando un análisis apropiado.

Este análisis se basa en la hipótesis de que los momentos resistentes negativo y positivo del muro son iguales y que los momentos resistentes negativo y positivo de la viga son iguales.

La medida de la resistencia de una baranda de hormigón es R_w , valor que se compara con las cargas indicadas en la Tabla A13.2-1 para determinar si la baranda es estructuralmente adecuada. Las resistencias flexionales, M_b , M_w y M_c , se relacionan con la resistencia del sistema R_w a través del análisis por líneas de fluencia representado por las Ecuaciones 1 y 2. En la terminología de estas Especificaciones, R_w es la "resistencia nominal," ya que este valor se compara con la "carga nominal" indicada en la Tabla A13.2-1.

Si el ancho de la baranda de hormigón varía en función de la altura, el valor de M_c utilizado en las Ecuaciones 1 a 4 para determinar la resistencia del muro se debería tomar como el promedio de su valor en toda la altura de la baranda.

M_w = resistencia flexional del muro respecto de su eje vertical (N-mm/mm)

Para poder ser utilizados en las expresiones anteriores, M_c y M_w no deberían variar significativamente con la altura del muro. En otros casos se debería realizar un análisis riguroso mediante líneas de fluencia.

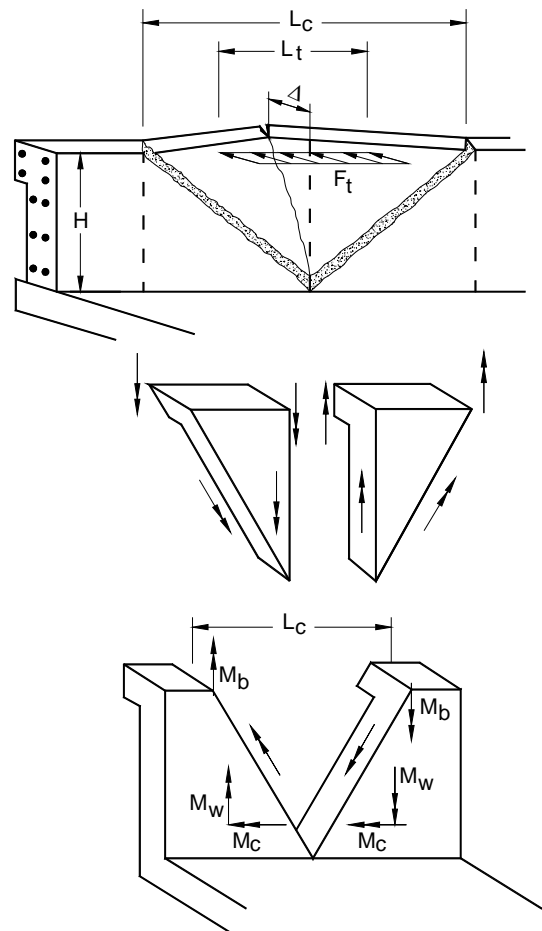


Figura CA13.3.1-1 – Análisis mediante líneas de fluencia de un muro de hormigón para el caso de un impacto dentro de un segmento del muro

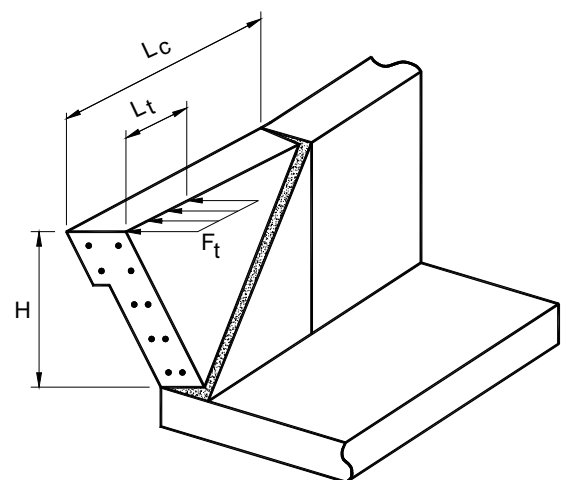


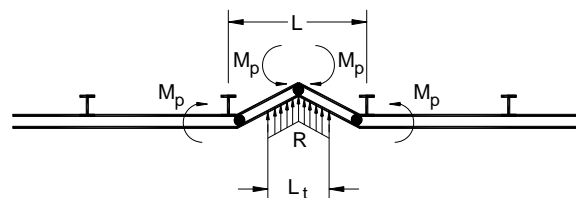
Figura CA13.3.1-1 – Análisis mediante líneas de fluencia de un muro de hormigón para el caso de un impacto cerca del extremo de un segmento del muro

A13.3.2 Barandas Formadas por Postes y Vigas

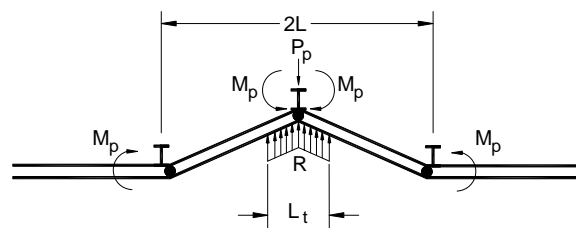
Para diseñar las barandas formadas por postes y vigas bajo condiciones de falla se deberán utilizar análisis inelásticos. Si la falla no involucra el poste final de un segmento, la resistencia nominal crítica de los rieles, R , se deberá tomar como el menor valor entre los determinados mediante las Ecuaciones 1 y 2 para diferentes números de tramos de baranda, N .

CA13.3.2

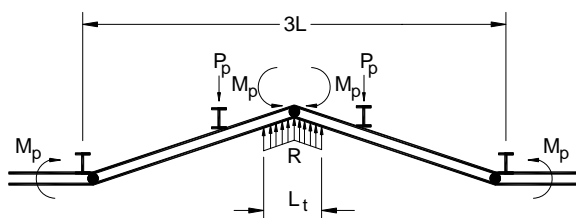
En la Figura C1 se ilustra una posible base para aplicar un análisis inelástico.



Modo de falla para un solo tramo



Modo de falla para dos tramos



Modo de falla para tres tramos

Figura CA13.3.2-1 – Modos de falla posibles para las barandas formadas por postes y vigas

- Para los modos de falla que involucran un número de tramos de baranda, N , impar:

$$R = \frac{16M_p + (N-1)(N+1)P_p L}{2NL - L_t} \quad (\text{A13.3.2-1})$$

- Para los modos de falla que involucran un número de tramos de baranda, N , par:

$$R = \frac{16M_p + N^2 P_p L}{2NL - L_t} \quad (\text{A13.3.2-2})$$

donde:

L = separación de los postes o longitud de un tramo simple (mm)

Este procedimiento de diseño se puede aplicar para las barandas formadas por postes y vigas metálicas y de hormigón.

El poste en cada extremo del mecanismo plástico debe ser capaz de resistir el corte del riel o la viga.

M_p = resistencia inelástica o para línea de fluencia de todos los rieles que contribuyen a una rótula plástica (N-mm)

P_p = resistencia última a la carga transversal de un único poste ubicado a una altura \bar{Y} por encima del tablero (N)

R = resistencia última total de la baranda, es decir su resistencia nominal (N)

L_t, L_L = longitud transversal de las cargas distribuidas debidas al impacto de vehículos, F_t y F_L (mm)

Para considerar un impacto en el extremo de un segmento de riel que provoca la caída del poste ubicado en el extremo de la baranda, la resistencia nominal crítica del riel, R , se deberá calcular utilizando la Ecuación 3.

- Para cualquier número de tramos de baranda, N :

$$R = \frac{2M_p + 2P_p L \left(\sum_{i=1}^N i \right)}{2NL - L_t} \quad (\text{A13.3.2-3})$$

A13.3.3 Parapeto de Hormigón y Riel Metálico

CA13.3.3

La resistencia de cada elemento de un riel combinado se deberá determinar como se especifica en los Artículos A13.3.1 y A13.3.2. La resistencia flexional del riel se deberá determinar para un tramo, R_R , y para dos tramos, R'_R . Se deberá determinar la resistencia del poste sobre el muro, P_p , incluyendo la resistencia de los bulones de anclaje o poste.

La resistencia del conjunto formado por el parapeto y el riel se deberá tomar como la menor de las resistencias determinadas para los dos modos de falla ilustrados en las Figuras 1 y 2.

En los sistemas de múltiples rieles cada uno de los rieles puede contribuir al mecanismo de fluencia esquematizado en la Figura C1, dependiendo de la rotación correspondiente a su posición vertical.

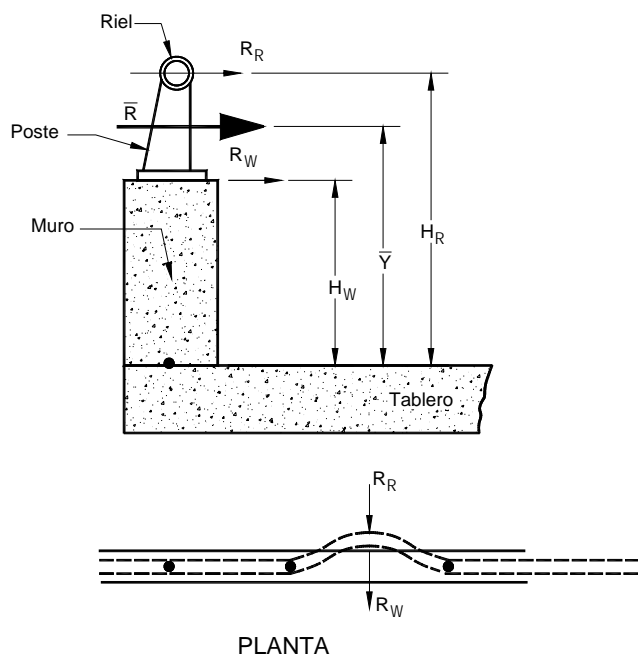


Figura A13.3.3-1 – Evaluación del conjunto formado por un muro de hormigón y un riel metálico – Impacto a la mitad de la longitud del riel

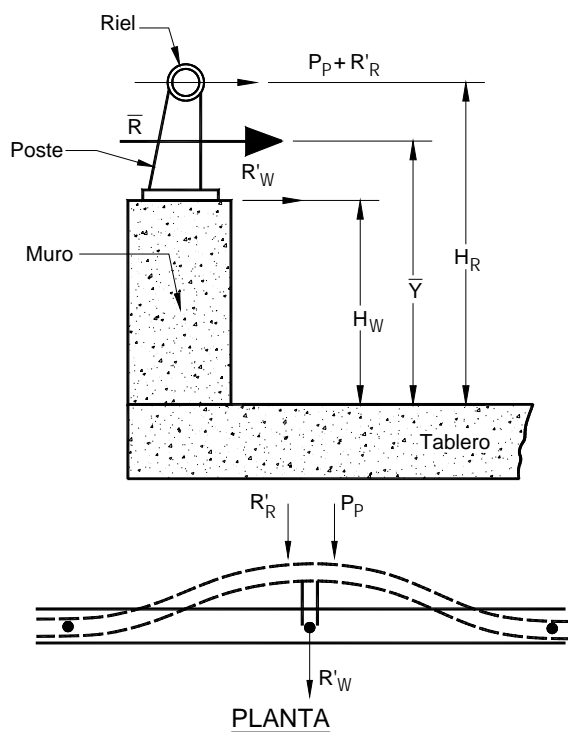


Figura A13.3.3-2 – Evaluación del conjunto formado por un muro de hormigón y un riel metálico – Impacto en un poste

Si el impacto del vehículo se produce a la mitad de la longitud del riel metálico (como se ilustra en la Figura 1),

la resistencia flexional del riel, R_R , y la máxima resistencia del muro de hormigón, R_w , se deberán sumar entre sí para determinar la resistencia combinada resultante, \bar{R} , y la altura efectiva, \bar{Y} , se deberá tomar de la siguiente manera:

$$\bar{R} = R_R + R_w \quad (\text{A13.3.3-1})$$

$$\bar{Y} = \frac{R_R H_R + R_w H_w}{\bar{R}} \quad (\text{A13.3.3-2})$$

Ver el comentario CA13.2.

donde:

R_R = capacidad última del riel en un tramo (N)

R_w = capacidad última del muro como se especifica en el Artículo A13.3.1 (N)

H_w = altura del muro (mm)

H_R = altura del riel (mm)

Si el impacto del vehículo se produce en un poste (como se ilustra en la Figura 2), la máxima resistencia resultante, \bar{R} , se deberá tomar como la sumatoria de la capacidad del poste, P_p , la resistencia del riel, R'_R , y una resistencia reducida del muro, R'_w , ubicada a una altura \bar{Y} .

$$\bar{R} = P_p + R'_R + R'_w \quad (\text{A13.3.3-3})$$

$$\bar{Y} = \frac{P_p H_R + R'_R H_R + R'_w H_w}{\bar{R}} \quad (\text{A13.3.3-4})$$

donde:

$$R'_w = \frac{R_w H_w - P_p H_R}{H_w} \quad (\text{A13.3.3-5})$$

y donde:

P_p = resistencia transversal última del poste (N)

R'_R = resistencia transversal última del riel en dos tramos (N)

R_w = resistencia transversal última del muro como se especifica en el Artículo A13.3.1 (N)

R'_w = capacidad del muro, reducida para resistir la carga del poste (N)

También se debe reconocer que se podría obtener una máxima altura efectiva, \bar{Y} , igual a la altura del baricentro del riel, H_R , pero para una resistencia resultante reducida, \bar{R} , sólo igual a la capacidad del poste, P_p , y la capacidad del riel, R'_R .

Este análisis no considera los impactos que pueden ocurrir cerca de las juntas abiertas del muro o parapeto. El riel metálico ayudará a distribuir la carga a través de estas juntas. La resistencia del riel se mejora si se minimiza el uso de juntas de expansión y contracción.

En el caso de un impacto cerca del extremo de un segmento de baranda, la resistencia nominal se puede calcular como la sumatoria de la resistencia del muro, calculada mediante la Ecuación A13.3.1-3, más la resistencia del riel metálico en un tramo, calculada mediante la Ecuación A13.3.2-3.

A13.3.4 Barreras de Madera

Las barreras de madera se deberán diseñar mediante análisis elásticos lineales, dimensionando las secciones de los elementos en base a sus resistencias, especificadas en la Sección 8, utilizando los estados límites de resistencia y las combinaciones de cargas aplicables especificadas en la Tabla 3.4.1-1.

CA13.3.4

Para las barandas de madera no se recomienda ningún límite ni mecanismo de falla.

A13.4 DISEÑO DE LOS VUELOS DEL TABLERO**A13.4.1 Casos de Diseño**

Los vuelos del tablero de un puente se deberán diseñar considerando separadamente los siguientes casos de diseño:

Caso de Diseño 1: fuerzas transversales y longitudinales especificadas en el Artículo A13.2 – Estado Límite Correspondiente a Evento Extremo

Caso de Diseño 2: fuerzas verticales especificadas en el Artículo A13.2 – Estado Límite Correspondiente a Evento Extremo

Caso de Diseño 3: cargas que ocupan el vuelo, especificadas en el Artículo 3.6.1 – Estado Límite de Resistencia

A13.4.2 Tableros que Soportan Parapetos de Hormigón

Para el Caso de Diseño 1, el tablero del puente se puede diseñar para proveer una resistencia flexional, M_s , en N-mm/mm, que actuando conjuntamente con la fuerza de tracción T en N/mm aquí especificada sea mayor que la M_c del parapeto en su base. La fuerza de tracción axial, T , se puede tomar de la siguiente manera:

$$T = \frac{R}{L_c + 2H} \quad (\text{A13.4.2-1})$$

donde:

R_w = resistencia del parapeto especificada en el Artículo A13.3.1 (N)

L_c = longitud crítica del patrón de falla por líneas de fluencia (mm)

CA13.4.2

Si la capacidad del vuelo del tablero es menor que la especificada es posible que no se desarrolle el mecanismo de falla por líneas de fluencia como se ilustra en la Figura CA13.3.1-1. En este caso las Ecuaciones A13.3.1-1 y A13.3.1-2 perderán su validez.

El programa de ensayos de choque se orienta hacia la supervivencia del sistema de barandas, no necesariamente a la identificación de su resistencia última. Esto significa que se podría lograr una baranda significativamente sobredimensionada, lo cual podría llevar que también el vuelo del tablero resulte sobredimensionado.

H = altura del muro (mm)

T = fuerza de tracción por unidad de longitud del tablero (N/mm)

El diseño del vuelo del tablero para las fuerzas verticales especificadas en el Caso de Diseño 2 se deberá basar en la porción del tablero en voladizo.

A13.4.3 Tableros que Soportan Barandas Formadas por Postes y Vigas

A13.4.3.1 Diseño del Vuelo

Para el Caso de Diseño 1 el momento por mm, M_d , y el esfuerzo normal por mm de tablero, T , se pueden tomar de la siguiente manera:

$$M_d = \frac{M_{\text{poste}}}{W_b + D} \quad (\text{A13.4.3.1-1})$$

$$T = \frac{P_p}{W_b + D} \quad (\text{A13.4.3.1-2})$$

Para el Caso de Diseño 2 la fuerza de corte por punzonamiento y el momento en el vuelo se pueden tomar de la siguiente manera:

$$P_v = \frac{F_v L}{L_v} \quad (\text{A13.4.3.1-3})$$

$$M_d = \frac{P_v X}{b} \quad (\text{A13.4.3.1-4})$$

donde:

$$b = 2X + W_b \leq L \quad (\text{A13.4.3.1-5})$$

y donde:

M_{poste} = resistencia flexional del poste de la baranda (N)

P_p = corte correspondiente a M_{poste} (N)

X = distancia desde el borde exterior de la placa de base del poste hasta la sección investigada, tal como se especifica en la Figura 1 (mm)

W_b = ancho de la placa de base (mm)

T = fuerza de tracción en el tablero (N/mm)

CA13.4.3.1

Los sistemas formados por vigas y postes, como por ejemplo los sistemas metálicos con postes de ala ancha o tubulares, imponen al tablero importantes momentos y fuerzas concentradas en los puntos de unión de los postes al tablero.

D = distancia desde el borde exterior de la placa de base hasta la fila de bulones más interna, tal como se ilustra en la Figura 1 (mm)

L = separación de los postes (mm)

L_v = distribución longitudinal de la fuerza vertical F_v sobre la baranda (mm)

F_v = fuerza vertical que representa un vehículo que yace sobre el riel una vez concluidas las fuerzas de impacto F_t y F_L (N)

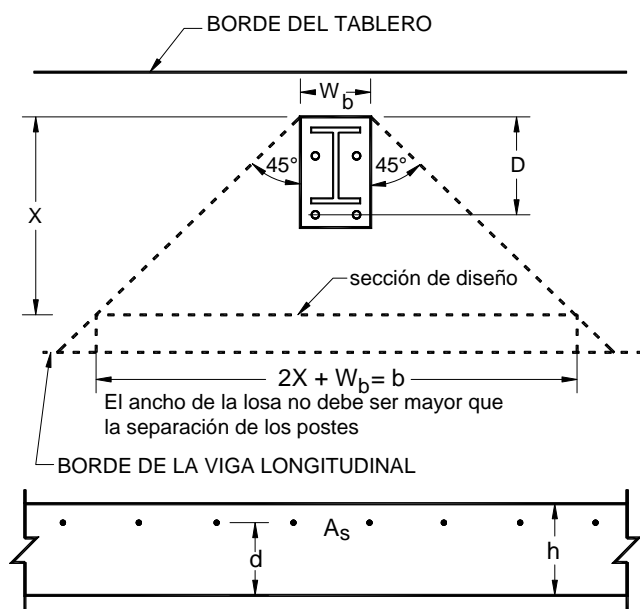


Figura A13.4.3.1-1 – Longitud efectiva del voladizo para soportar las cargas concentradas de los postes, transversales o verticales

A13.4.3.2 Resistencia al Corte por Punzonamiento

Para el Caso de Diseño 1, el corte mayorado se puede tomar de la siguiente manera:

$$V_u = A_f F_y \quad (\text{A13.4.3.2-1})$$

La resistencia mayorada al corte por punzonamiento de un vuelo de tablero se puede tomar como:

$$V_r = \phi V_n \quad (\text{A13.4.3.2-2})$$

$$V_n = V_c \left[W_b + h + 2 \left(E + \frac{B}{2} + \frac{h}{2} \right) \right] h \quad (\text{A13.4.3.2-3})$$

En las ediciones anteriores de las Especificaciones Estándares las cargas de las barandas o postes se distribuían a la losa utilizando un análisis simplificado similar: "Si no se utiliza ningún parapeto, la longitud efectiva de losa que resiste las cargas de un poste deberá ser igual a $E = 0,8x + 1140$ mm, mientras que si se utiliza un parapeto, esta longitud deberá ser igual a $E = 0,8x + 1520$ mm, siendo x la distancia en mm desde el centro del poste hasta el punto investigado."

CA13.4.3.2

Muchas veces las losas o tableros de hormigón fallan por el corte por punzonamiento que provoca la fuerza que ejerce el ala comprimida del poste, C . Para resistir este tipo de fallas se debería proveer un espesor h adecuado, una distancia al borde E adecuada, o una placa de base de tamaño adecuado (W_b , B o espesor).

$$V_c = \left(0,166 + \frac{0,332}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} \leq \phi 0,332 \sqrt{f'_c} \quad (\text{A13.4.3.2-4})$$

$$\frac{B}{2} + \frac{h}{2} \leq B \quad (\text{A13.4.3.2-5})$$

donde:

$$\beta_c = W_b / D$$

y donde:

h = altura de la losa (mm)

W_b = ancho de la placa de base (mm)

A_f = área del ala comprimida del poste (mm^2)

F_y = tensión de fluencia del ala comprimida del poste (MPa)

b = longitud de tablero que resiste la resistencia o carga de corte del poste = $h + W_b$

B = distancia entre los baricentros de las resultantes de las tensiones de tracción y compresión en el poste (mm)

D = espesor de la placa de base (mm)

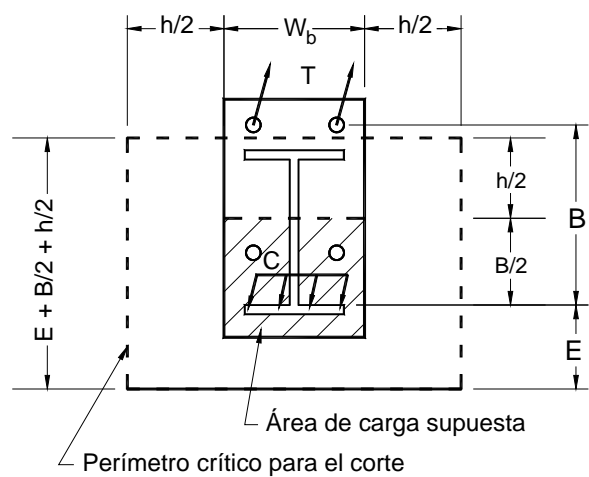
E = distancia entre el borde de la losa y el baricentro de la resultante de la tensión de compresión en el poste (mm)

f'_c = resistencia a la compresión del hormigón a 28 días (MPa)

ϕ = factor de resistencia = 1,0

La distribución supuesta para las fuerzas que intervienen en el cálculo del corte por punzonamiento deberá ser como se ilustra en la Figura 1.

Tanto mediante resultados de ensayos como mediante experiencia práctica se ha demostrado que, cuando ocurre una falla del tablero de un puente, el modo de falla es de tipo corte por punzonamiento con pérdida de integridad estructural entre el hormigón y el acero de las armaduras. El uso de diferentes tipos de armadura de corte puede aumentar la resistencia última de las conexiones poste-tablero, pero esta armadura de corte no será efectiva para



reducir el corte, la tracción diagonal ni la fisuración en el tablero. La resistencia al corte se puede incrementar aumentando el espesor de la losa, el ancho y el espesor de la placa de base, o la distancia al borde.

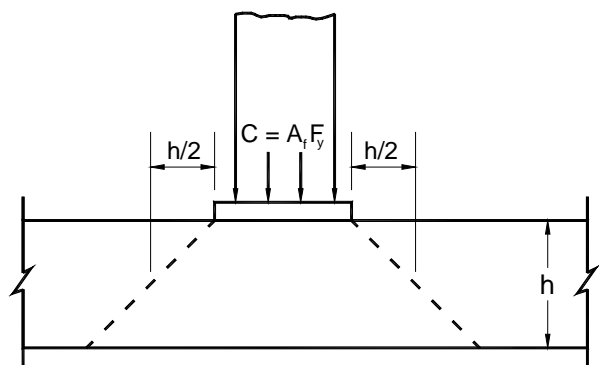


Figura A13.4.3.2-1 – Modo de falla por corte por punzonamiento