



REPUBLICA DE CUBA

Elaboración de Proyectos de Construcción

PUENTES Y ALCANTARILLAS

Especificaciones de proyecto y métodos
de cálculo

NC

53-125

1984

Construction Design
Elaboration. Bridges
and Sewers. Design
Specifications and
Calculation Methods

VIGENTE FAR

SEGUN COMUNICACION

No.

DEL SMAT-FAR

Одобрение проектов строительства.
Мосты и стоки. Спецификации проекта
Методы расчета

Esta norma establece las especificaciones de proyecto y métodos de cálculo para puentes, viaductos, pasarelas y alcantarillas, para ferrocarriles de 1 435 mm de cartabón, vías urbanas, carreteras y autopistas y donde el material a utilizar en los mismos sea el convencional: hormigón armado, hormigón pretensado, acero y mixtos de hormigón y acero.

1. Generalidades

- 1.1 En el diseño de puentes y alcantarillas, deberá considerarse, además, todo lo establecido en las normas de construcción vigentes, y todas las disposiciones y reglamentos de seguridad, incluyendo las de incendios e higiene del trabajo, tanto en el período de construcción como de explotación.
- 1.2 Los puentes y alcantarillas proyectados deberán garantizar durante el tiempo de servicio, y para los parámetros de diseño considerados, seguridad, circulación continua, al igual que la mayor facilidad en su mantenimiento.
- 1.3 Los puentes y alcantarillas proyectados en vías fluviales, deberán asegurar el paso de las aguas y el movimiento de objetos flotantes en su nivel de agua máxima correspondiente a su probabilidad de cálculo según lo que establece esta norma.
- 1.4 Deberá garantizarse también el movimiento normal de transporte terrestre y fluvial.
- 1.5 En el proyecto de puentes y alcantarillas deberá preverse que la construcción se realice en un tiempo óptimo a a un costo mínimo.
- 1.6 En el proyecto, las dimensiones y formas, sistema constructivo, los materiales y el aspecto exterior de los puentes y alcantarillas, deberán corresponder a su función y a las condiciones locales, así como al desarrollo prospectivo del transporte y a la comunicación subterránea, superficial y elevada.
- 1.7 Para la ubicación de los puentes y alcantarillas situados en áreas urbanas, deberán tenerse en cuenta los requerimientos urbanísticos y de planificación de las mismas.

Aprobada:

Diciembre 1984

ESTA NORMA ES OBLIGATORIA.

Vigente a partir de:

Mayo 1985

- 1.8 La eficiencia de la solución adoptada deberá establecerse en el proyecto, sobre la base de la comparación técnicoeconómica de variantes, en las cuales se hayan considerado todo el conjunto de prescripciones, incluyendo posibles secuencias de la ejecución.
- 1.9 A los efectos de esta norma, los puentes en general se clasifican en:
- Puentes: Construcciones viales que requieren para su diseño tener en cuenta los estudios hidrológicos e hidráulicos
 - Viaductos: Construcciones viales que salvan un accidente topográfico.
 - Pasos: Construcciones viales que salvan otras vías.

Los puentes se clasificarán en general en grandes, medianos y pequeños, de acuerdo con lo establecido en la tabla 1.

Tabla 1

Tipo de puentes	FERROCARRILES		Dimensiones (m)	
	Luz L	Longitud total A	Luz L	Longitud total A
Grandes	$L > 20$	$A > 100$	$L > 35$	$A > 150$
Medianos	$10 \leq L < 20$	$50 \leq A < 100$	$20 \leq L < 35$	$50 \leq A < 150$
Pequeños	$L < 10$	$A < 50$	$L < 20$	$A < 50$

- 1.10 A los efectos de esta norma, los ríos, de acuerdo al lugar de emplazamiento del puente, se clasificarán en:
- Grandes: Aquellos que reciben la lluvia de un área mayor de 100 km^2
 - Medianos: Aquellos que reciben la lluvia de un área entre 30 y 100 km^2
 - Pequeños: Aquellos que reciben la lluvia de un área menor de 30 km^2 .

ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

2. Ubicación de puentes y alcantarillas

- 2.1 La selección del lugar de paso y ubicación de la estructura en elevación y vista superior, tiene que realizarse considerando los parámetros técnicos del trazado de la vía y explotación, régimen de la corriente, condiciones del lecho, geológicas, locales y otras, que determinan la solución técnico económica óptima para el tramo correspondiente de la vía, teniéndose en cuenta su desarrollo ulterior.

- 2.2 En cada cruce de la vía con una corriente fluvial, deberá proyectarse una sola estructura cuya abertura permita pasar el caudal de cálculo, cumplimentando los requisitos hidráulicos, técnico económicos y otros establecidos en esta norma. Sólo cuando las partes interesadas estén de acuerdo, se permitirá el paso de más de un canal de riego o drenaje por una estructura.
- 2.3 Todos los puentes de vías férreas sobre balasto y los puentes menores de 150 m de autopistas, carreteras y vías urbanas, así como las alcantarillas, se permite ubicarlas en cualquier combinación de la vista superior y el perfil, de acuerdo con las normas de proyecto de la vía correspondiente y sus restricciones.
- 2.3.1 Los puentes de ferrocarril sin balasto se deben ubicar en alineación recta y horizontal; no obstante, la ubicación de este tipo de puente con pendientes longitudinales mayores del 0,4%, se permitirán sólo con la debida fundamentación técnico económica.
- 2.3.2 En los puentes mayores de 150 m de autopistas, carreteras y vías urbanas, la pendiente longitudinal de la vía no será mayor del 4%; no obstante, podrían utilizarse pendiente mayores con una debida justificación técnico económica.
- 2.4 El espesor mínimo del relleno sobre las alcantarillas y puentes de arco de tímpano relleno, debe satisfacer los valores que se indican en la tabla 2.

Tabla 2 Espesor del relleno

Tipo de obra	Dimensiones (m)	
	En vías férreas (desde la base del riel hasta la parte superior de la alcantarilla o a la clave del arco)	En vías urbanas y carreteras (desde la rasante hasta la parte superior de la alcantarilla o clave del arco)
Arcos de tímpano relleno	0,7	0,5
Alcantarillas	1,00	0,5

- 2.4.1 En casos excepcionales, cuando por requerimientos de proyectos sea necesario utilizar alcantarillas a rasante, o con espesores de relleno menores que los límites establecidos en el epígrafe anterior, éstas se calcularán, al efecto de las acciones exteriores, como en el caso de los puentes.

3. Especificaciones generales

- 3.1 Las soluciones estructurales empleadas en los proyectos de puentes y alcantarillas, deberán tomar en consideración los índices técnico económicos de consumo de materiales de construcción, así como el empleo máximo de materiales locales, elementos prefabricados y basarse en métodos de construcción industrializados y mecanizados. Preferentemente se emplearán proyectos típicos.

- 3.2 Las dimensiones básicas de las estructuras típicas, así como de los elementos que la componen, deberán cumplir con las condiciones modulares establecidas.
- 3.3 El módulo matemático (esquema de análisis) y los elementos, tanto de la superestructura como de la subestructura, deberán garantizar:
- a) La invariabilidad geométrica del sistema y además la debida resistencia a las acciones, el desgaste, fatiga, estabilidad y rigidez de todos los componentes, considerando las condiciones de fabricación, transporte, montaje y peculiaridades del trabajo en el proceso de explotación.
 - b) La disminución al máximo de las posibles concentraciones de tensiones, así como mantener con valores mínimos todas aquellas producidas por efectos secundarios, exceptuando aquellos casos en que las mismas se producen con el fin de mejorar el trabajo del elemento.
- 3.4 En el proyecto de las estructuras prefabricadas deberá preverse:
- a) Que se garantice la seguridad y la ejecución factible de las juntas y uniones, así como la facilidad en el montaje de los elementos de la estructura.
 - b) Deberá preverse que la estructura se componga de elementos estructurales, cuyo peso y dimensiones ofrezcan facilidad en el transporte, carga y descarga; en los casos donde sea ventajoso, se permitirán elementos mayores, prefabricados a pie de obra.
- 3.5 En las estructuras de puentes y alcantarillas, si es necesario reducir la influencia de los cambios de temperatura, retracción del hormigón, asentamiento del suelo y otros factores, se deberán proyectar juntas de deformación que no afecten la invariabilidad del sistema y que garanticen la libertad de las deformaciones correspondientes.
- 3.6 Para puentes sobre ríos grandes, en los casos que sea necesario, deberán preverse obras de encauzamiento y de protección de las márgenes. Para los puentes sobre pequeñas corrientes de agua y alcantarillas, se debe contemplar, cuando corresponda, el profundizar y regular el cauce dentro de los límites de la obra, especialmente a la entrada y salida de la misma, donde podrán proyectarse obras con el propósito de amortiguar la velocidad de la corriente.
- 3.7 Cuando la corriente traiga arrastres (grandes piedras, troncos, ramas de árboles y otros), no se permitirá el empleo de alcantarillas sin una justificación técnico económica.

En los lugares donde se puedan producir avalanchas (ríos montañosos), se deberán tomar adicionalmente medidas especiales.

- 3.8 En ferrocarriles de 1. y 2. categoría y autopistas, las dimensiones libres de la sección transversal de las alcantarillas, no serán menores que 0,9 m para longitudes menores que 20 m y que 1,25 m para longitudes mayores.

3.8.1 --En vías ferroviarias de categorías 3., 4. y 5. tendrán las siguientes dimensiones mínimas:

- Tubos de 0,75 m
- Cajón de 0,50 m

3.8.2 En alcantarillas para carreteras se permite una dimensión libre mínima de 0,9 m con una longitud no mayor que 30 m y 0,75 m con una longitud no mayor que 15 m y 0,60 en caminos y desvíos con longitud no mayor que 15 m.

3.9 La longitud de los elementos prefabricados para alcantarillas tanto circulares como rectangulares, se determina en dependencia de las condiciones locales y de trabajo, pero no debe sobrepasar los 5,0 m de longitud.

Para las alcantarillas de hormigón armado, en los segmentos prefabricados de 3,0 m y más de longitud, deberá comprobarse su resistencia a la flexión en el sentido transversal del terraplén.

3.10 Se permitirá en carreteras, autopistas, vías férreas y vías urbanas, que las alcantarillas para los gastos de diseño trabajen a semipresión o a presión (con embocaduras hidrodinámicas), siempre que se usen cimentaciones adecuadas, se asegure la impermeabilidad de las juntas entre tramos, la estabilidad del terraplén contra la filtración y se tomen todas aquellas otras medidas que garanticen el correcto funcionamiento de la alcantarilla.

3.11 Las alcantarillas deberán tener embocaduras de entrada y salida, cuya forma y dimensiones, garanticen condiciones favorables al paso de las aguas y a la estabilidad del terraplén adyacente a las mismas.

En las alcantarillas sin cimientos, hay que prever las medidas constructivas contra el desplazamiento de los elementos, como consecuencia de la deformación del suelo y el terraplén.

3.12 Las estructuras deberán protegerse en forma adecuada contra la acción nociva de sustancias químicas que contaminen el medio, así como evitar contacto con líneas de conducción eléctrica; en cada caso, se protegerá con materiales apropiados y medios constructivos consecuentes, debiéndose señalar en el proyecto.

Los elementos estructurales de los puentes deberán tener una forma tal que asegure la evacuación rápida del agua, evitándose además zonas de acumulación permanente de humedad.

4. Gálibos

4.1 Los siguientes gálibos se aplicarán a los nuevos puentes que se proyecten y en los casos de reconstrucción donde sea posible.

- Los gálibos en puentes de autopistas, carreteras y vías urbanas, se determinarán en función de la categoría de la vía que cruzan, considerando el desarrollo prospectivo tipo e intensidad del tránsito, longitud del puente, su situación en vista superior y perfil y otras condiciones locales.

- Los gálíbos de puentes situados en carreteras en curvas, se aplicarán teniendo en cuenta la superelevación y el ensanchamiento por curvatura
- En casos con condiciones especiales, previa autorización del Ministerio de Transporte y con una justificación apropiada, se permitirá el aumento del gálíbo de proyecto.

4.2 Gálíbo para el proyecto de pasos de ganado y de peatones

- 4.2.1 El gálíbo horizontal para el paso de ganado será de 2,5 m de anchura y como mínimo 3,0 m de longitud; por el mismo quedará prohibido el paso de vehículos (véase Fig. 1).

PASO DE GANADO

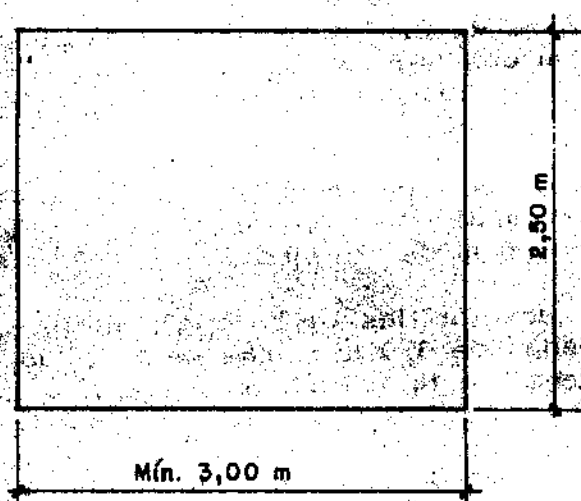
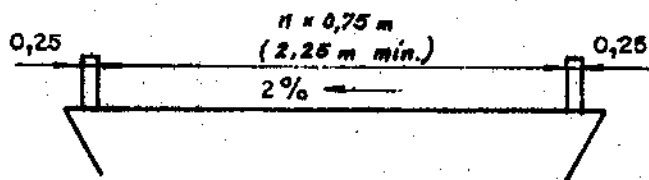


Fig. 1

- 4.2.2 El gálíbo horizontal de pasos para peatones, inferiores y superiores, será múltiplo de 0,75 m y se determinará en función del volumen de tránsito de peatones. La capacidad de una senda de peatones será de 1 000 personas por hora. Por el mismo quedará prohibido el paso de vehículos (véase Fig. 2).

PASOS DE PEATONES

PASO SUPERIOR



n = número de sendas

PASO INFERIOR

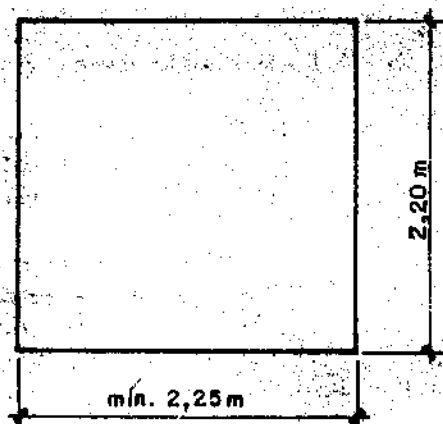


Fig. 2

4.3 Gálidos de diseño para puentes, pasos superiores e inferiores de autopistas, carreteras y vías urbanas. El gálibo vertical es la distancia mínima entre el punto más elevado de la rasante del pavimento y el punto más bajo del obstáculo superior.

El gálibo horizontal de diseño deberá ser del ancho libre disponible para el tránsito de vehículos, de acuerdo a como se muestra en las Figs. 3, 4a y 4b y 5.

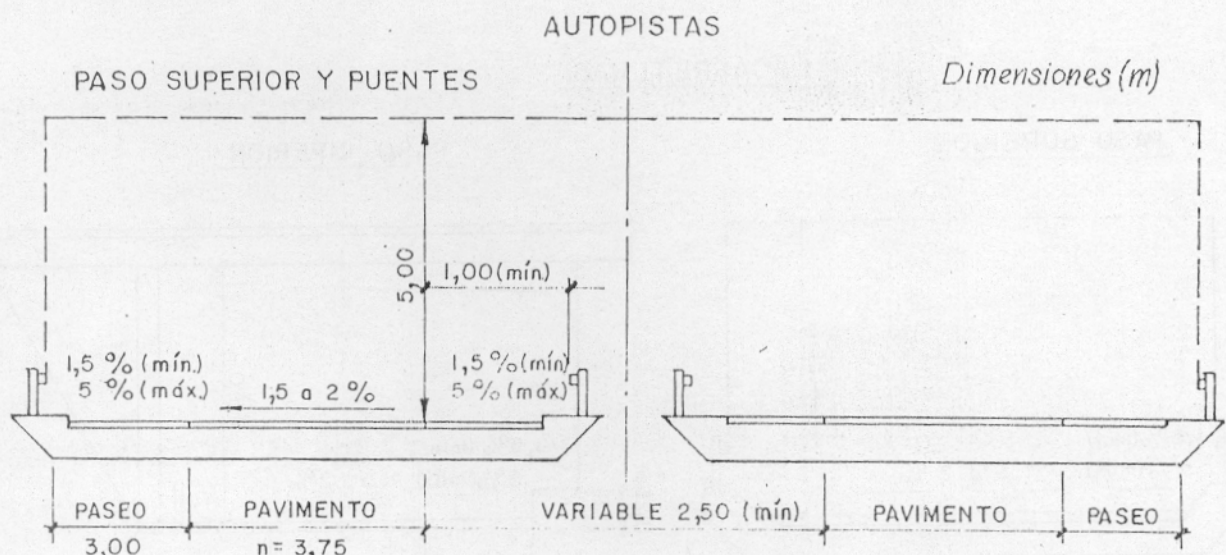


Fig. 3

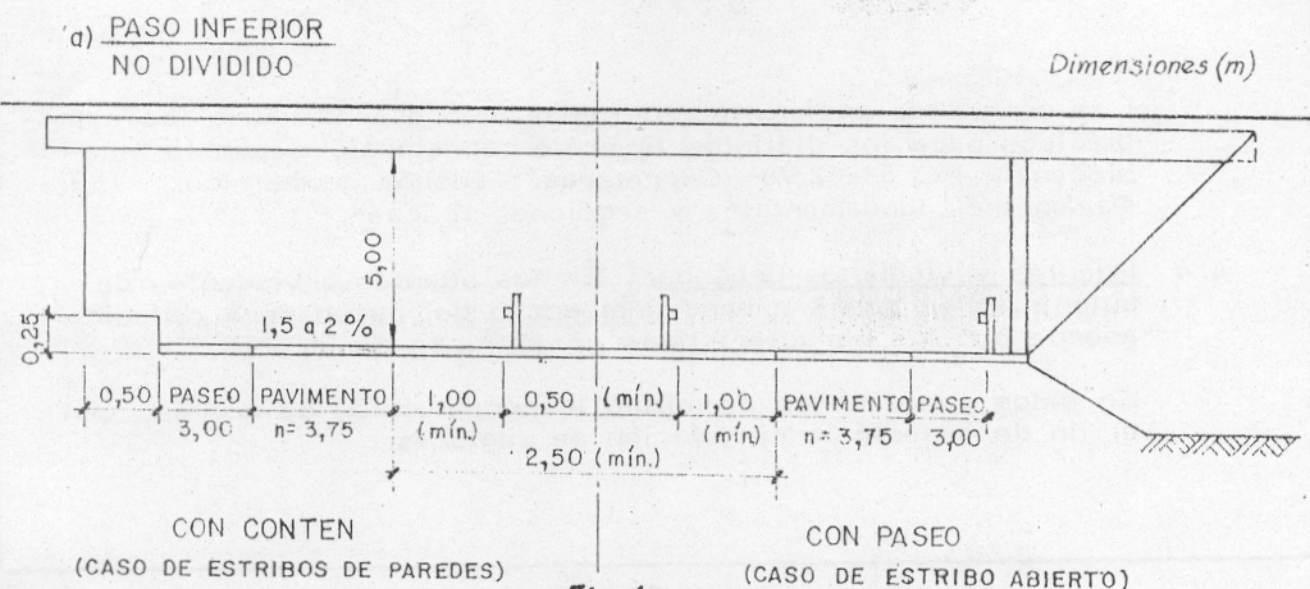


Fig. 4a

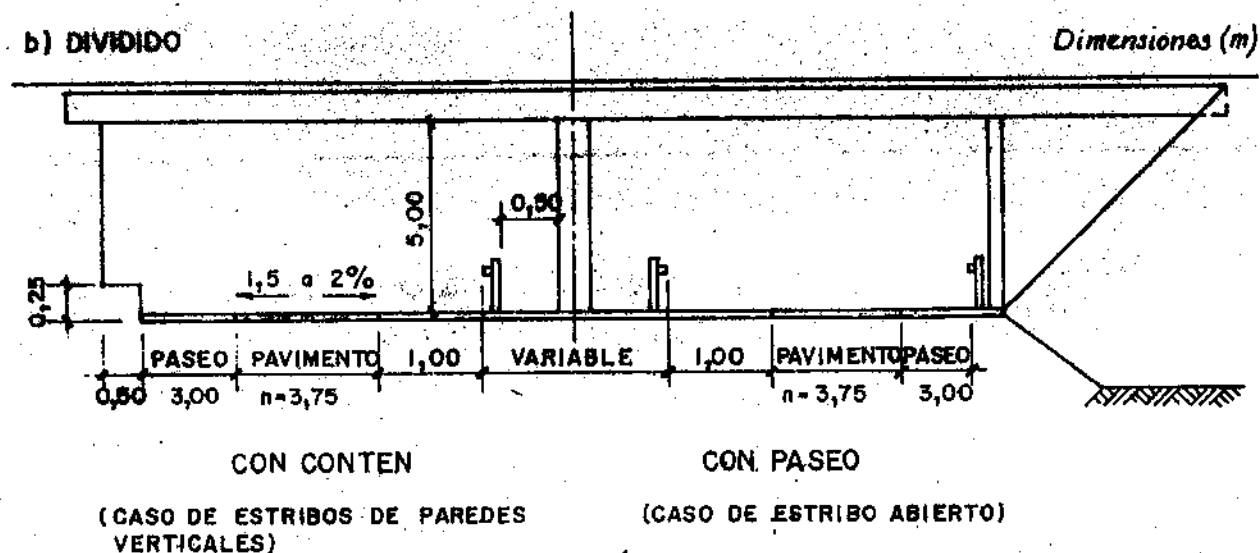
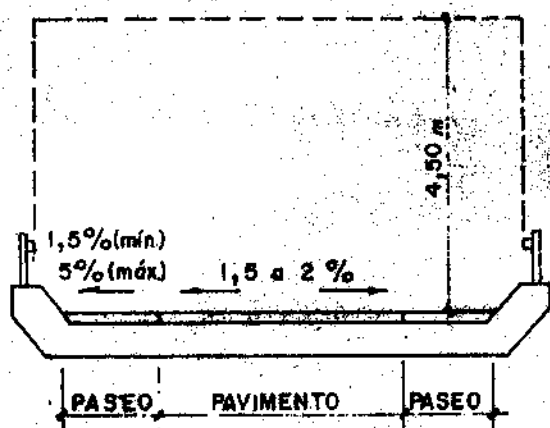


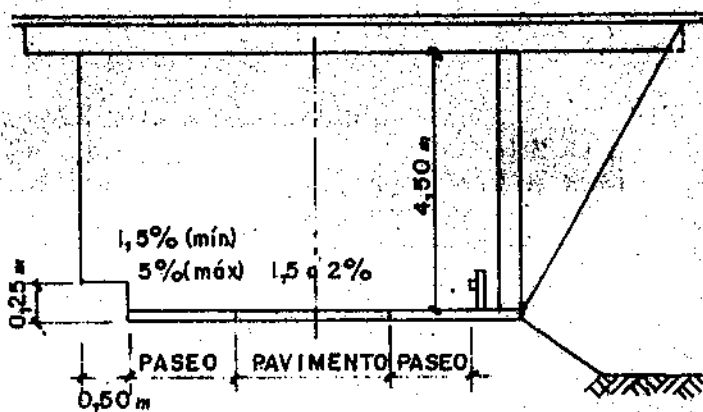
Fig. 4b

CARRETERAS

PASO SUPERIOR



PASO INFERIOR



CON CONTEN
(CASO DE ESTRIBOS
DE PAREDES VERTI-
CALES)

CON PASEO
(CASO DE ESTRIBOS
ABIERTOS)

Fig. 5

Los anchos de pavimento y de pasos corresponderán a los establecidos para los distintos tipos de carreteras, según lo establecen la NC 53-02:78 "Carreteras. Diseño geométrico. Parámetros fundamentales y secciones típicas".

4. 4 Puentes y viaductos urbanos. En los puentes o viaductos de autopistas en zonas urbanas, el ancho del paseo será reducido acorde con las características geométricas de la obra.

En estos casos no se permitirá la construcción de aceras, con el fin de impedir la circulación de peatones.

Los puentes y pasos que no sean de autopistas en zonas urbanas, se construirán con aceras, debiéndose definir la sección transversal por los organismos competentes.

La anchura de las aceras se adopta múltiplo de 0,75 m en función de la intensidad de tránsito de peatones y se determina considerando una capacidad de circulación de 1 000 peatones por hora y por senda.

La anchura de aceras de una sola senda, que estén adyacentes a la calzada, se adoptará no menos que 1,00 m (0,75 m más una faja de protección de 0,25 m).

En los viaductos urbanos y ramas de intercambios se deben prever protecciones especiales, como son bordillos, barandas reforzadas con cables o cualquier otro medio que impida que un accidente afecte dos niveles de tránsito.

Las secciones transversales, pendientes y otros detalles, para el diseño de los viaductos urbanos y ramas de intercambio, deberán ser objeto de estudios especiales.

4. 5 Gálidos de ferrocarriles para puentes y pasos superiores. Los gálidos siguientes se refieren a puentes y pasos superiores de ferrocarril, para su construcción y reconstrucción.

4. 5. 1 Gálidos de equipos. Se denomina gálidos de equipos, al contorno cerrado que limita las dimensiones del vehículo rodante (véase Fig. 6).

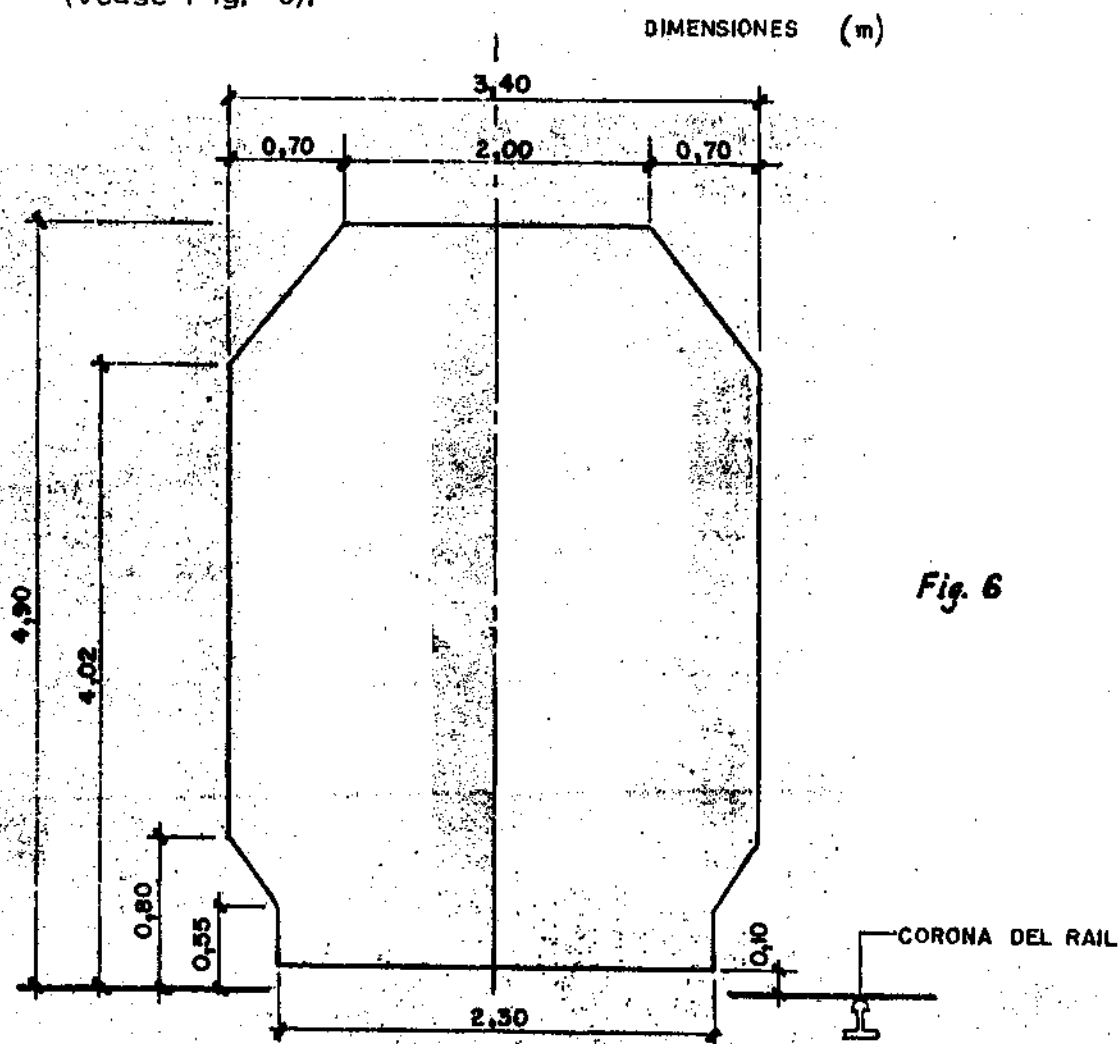


Fig. 6

4. 5. 2 Gálibo de construcción. Se denomina gálibo de construcción, al contorno o límite que queda perpendicularmente al eje de la vía y en el cual no pueden entrar ninguno de los elementos constitutivos del puente o los montados en él: instalaciones, mecanismos, equipamientos y otros.

Existen tres tipos de gálibos de construcción:

4. 5. 2. 1 Gálibo de obra (véase Fig. 7). El mismo se utilizará:

- Para instalaciones aledañas o accesorios al puente o la vía
- Para puentes de tablero inferior.

4. 5. 2. 2 Gálibo de paso superior para una vía (véase Fig. 8).

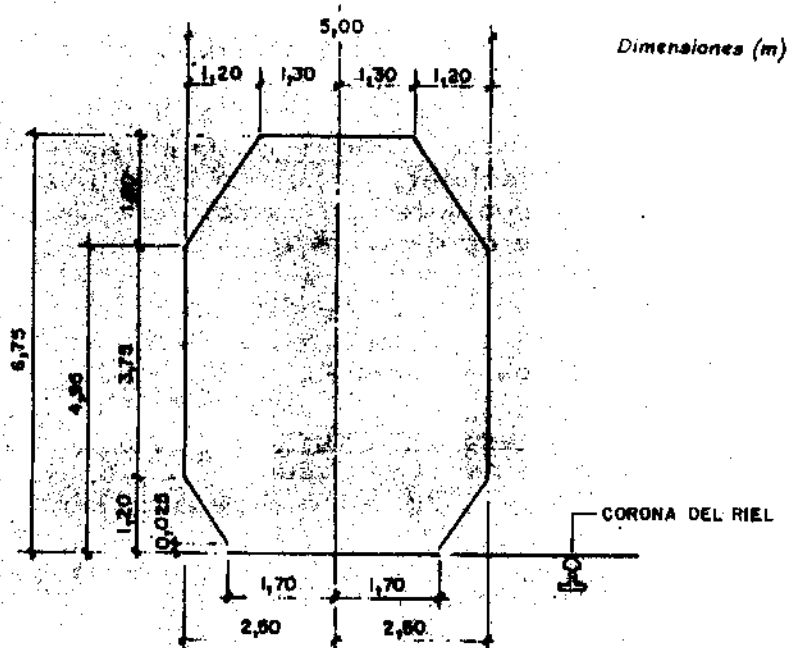


Fig. 7

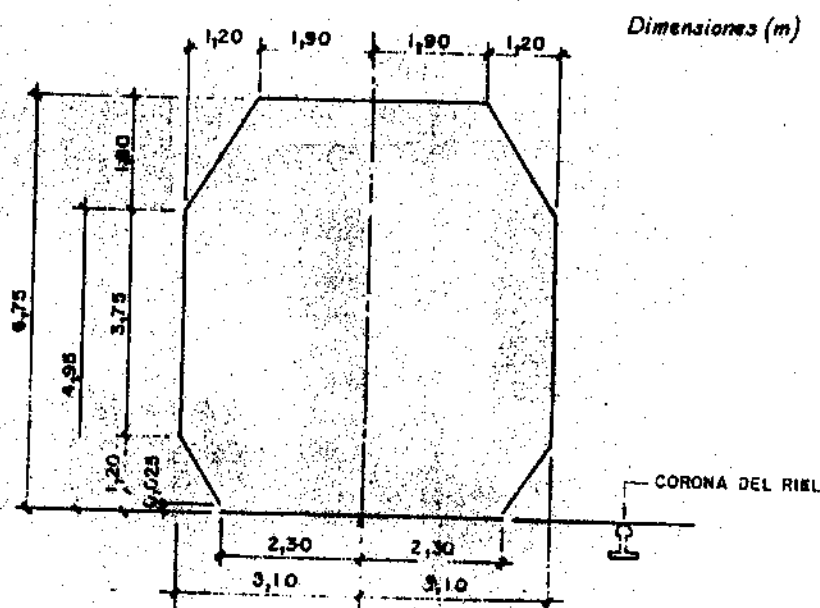


Fig. 8

4. 5. 2. 3 Gálibo de paso superior para dos vías (véase Fig. 9)

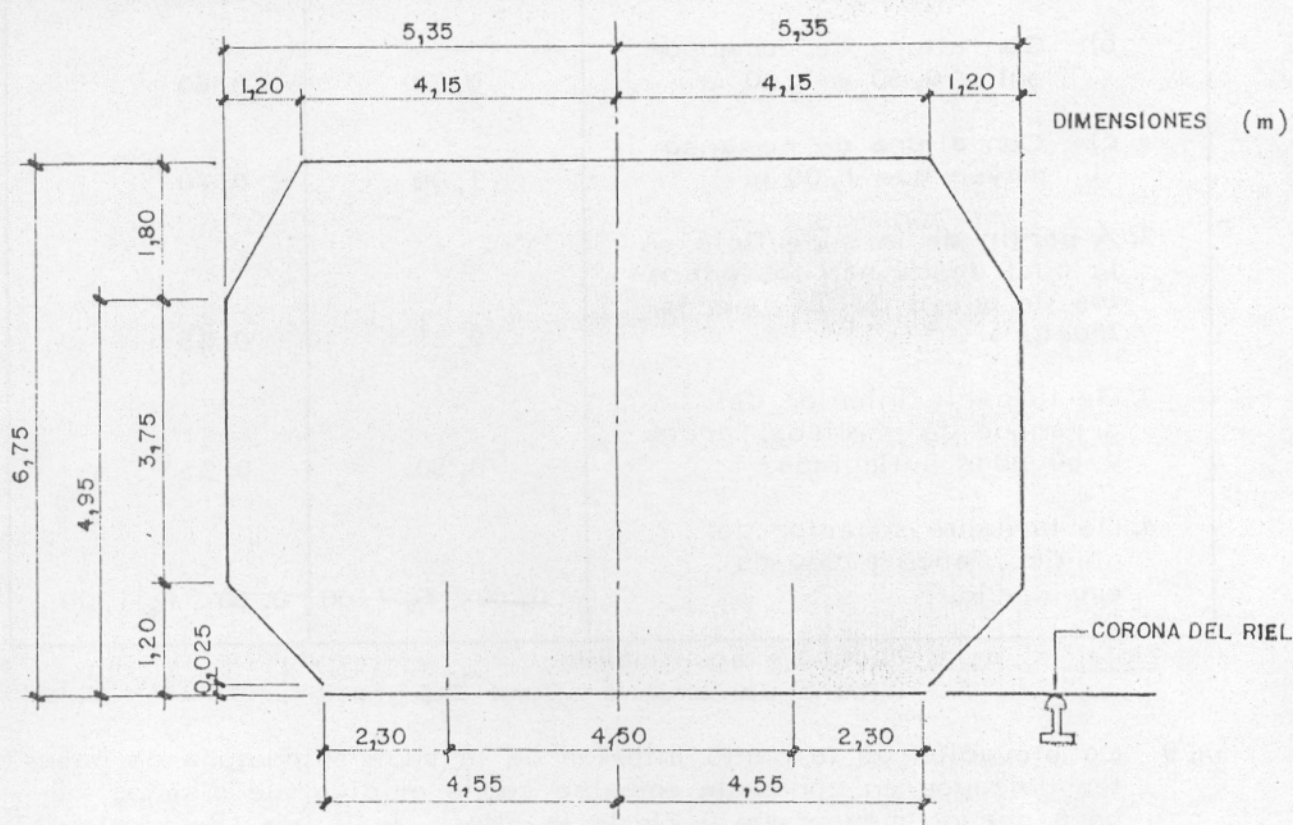


Figura 9

4. 5. 3 Los gálibos para vías férreas situados en curvas se proyectarán teniendo en cuenta la superelevación y el ensanchamiento por curvatura y de acuerdo con las instrucciones de gálibos vigentes.
4. 6 En los puentes con superestructura separadas para cada vía, la separación entre los paramentos verticales de las vigas y armaduras, no podrá ser menor que una distancia libre de 1,00 m.
4. 7 Los gálibos y luces para puentes ubicados en ríos navegables, se determinarán de acuerdo con la clase de vía fluvial y sujetándose a lo que establezcan en cada caso los proyectistas de mutuo acuerdo con el inversionista.
4. 8 La altura libre entre el nivel del agua y la parte inferior de la estructura del puente se determinará teniendo en cuenta las condiciones y características propias del emplazamiento, y en los casos de ríos navegables, deberá cumplirse además, lo especificado en el epígrafe anterior, pero en ningún caso deberá ser menor que los valores indicados en la tabla 3.

Tabla 3. Altura libre mínima sobre el N.A.M. considerando la influencia del remanso

Elementos del puente	Dimensiones (m)	
	De ferrocarril	De carreteras y urbanos
1. De la parte inferior de la estructura:		
a) Con altura de remanso menor que 0,50 m	0,60	0,50
b) Con altura de remanso entre 0,50 y 1,00 m	0,70	0,60
c) Con altura de remanso mayor que 1,00 m	1,00	0,70
2. A partir de la superficie en la cual descansan los aparatos de apoyo de la superestructura	0,25	0,25
3. De la parte inferior del arranque de pórticos, arcos y bóvedas articuladas	0,50	0,25
4. De la parte superior del pórtico, arco y bóveda empotrados	$0,50 < f \leq 1,00$	$0,50 < f \leq 1,00$

Nota. N.A.M. Nivel de agua máximo
f Flecha del arco o altura del pórtico.

- 4.9 La elevación de la parte inferior de la superestructura de puentes ubicados en zonas de embalse sobre el nivel de diseño, deberá ser no menor que 0,75 de la altura de la ola libre calculada para este nivel.
- 4.10 La elevación del punto más alto de la superficie interior de la alcantarilla sobre el nivel del agua dentro de la misma, correspondiente con el gasto de diseño y sin presión deberá ser:
- En las alcantarillas circulares y abovedadas con altura libre interior de hasta 3,0 m, mayor o igual que 0,25 de tal altura libre y con una altura libre mayor que 3,0 m, deberá ser mayor o igual que 0,75 m
 - En las alcantarillas rectangulares con una altura libre de hasta 3,0 m, dicha elevación deberá ser mayor o igual que 0,15 de la altura libre, mientras que para altura libre mayor que 3,0 m, deberá ser mayor o igual que 0,50 m.

5. Tablero de la vía en puentes de ferrocarril

- 5.1 La construcción de la vía férrea en los puentes, deberá garantizar el movimiento seguro y suave de los trenes a las velocidades de diseño de la vía y además el paso de las ruedas a los guardacarriles en caso de descarrilamiento.

- 5.2 La vía férrea en los puentes se colocará sobre el balasto de piedra triturada y con traviesas de madera u hormigón. En los puentes metálicos en rectas y con pendientes menores que 0,4%, se permitirá el colocar la vía férrea sobre traviesas especiales de madera y sin el empleo de balasto.

La vía férrea, se permitirá fijar directamente a la losa de hormigón armado, sólo en casos excepcionales y de acuerdo a instrucciones de los organismos competentes.

- 5.3 La anchura de la caja de balasto del tablero en la superestructura de una sola vía, deberá ser no menor que 3,80 m (véase Fig. 10)

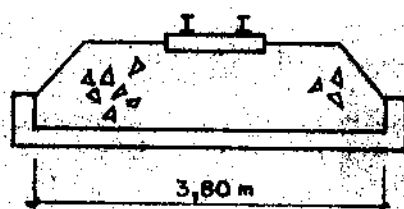


Figura 10

Previéndose contenes para garantizar la estabilidad lateral de la vía férrea.

En la superestructura para dos o más vías, la anchura de la caja de balasto se obtiene aumentándole a la anchura obtenida para una vía, la distancia entre ejes de las vías contiguas.

Si el puente está situado en curva, la anchura de la caja del balasto se aumentará en dependencia del radio de la curva y del número de vías en el puente.

En el caso de que los bordes longitudinales del tablero sean rectos, se aumentará en la magnitud de la flecha (f) de la curva.

$$f = \frac{l^2}{8R}$$

donde:

l longitud del tramo recto, (m)

R radio de la curva, (m)

Con esta condición, considerando la vía exterior colocada con el peralte del riel exterior (véase Fig. 11), la distancia desde el eje de esta vía (exterior) y la cara interior vertical del contén de la caja de balasto, no debe ser menor que 2,05 m.

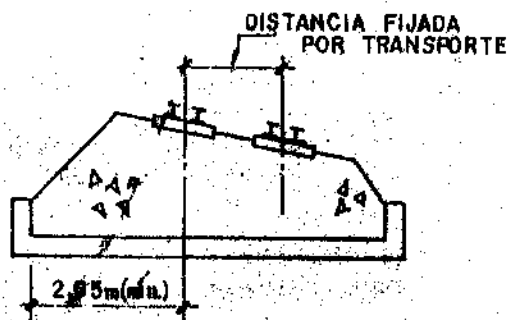


Figura 11

- 5.4 La altura mínima de la capa de balasto sobre los tableros de los puentes de ferrocarril, deberá tener un valor de 0,25 m con una tolerancia de 0,05 m, medido en la divisoria de las aguas desde la cara inferior de la traviesa hasta la capa de protección del hidroaislamiento sobre la losa.
- 5.5 La vía en los puentes de ferrocarril se diseñará de acuerdo a las exigencias de las normas y a la instrucción vigente sobre el mantenimiento de la vía férrea.
- 5.6 Se colocarán guardacarriles, constituidos por perfiles de acero o carriles, en los puentes, viaductos o pasos con longitudes mayores que 25,0 m, así como en los ubicados en curva con un radio menor que 1 000 m; que soportan la vía férrea tanto sobre traviesas especiales de madera como sobre las traviesas que se apoyan en balasto.

Además, los guardacarriles deberán colocarse en las vías férreas que pasan bajo los pasos superiores, si la distancia entre el eje de la vía hasta las columnas del paso superior es menor que 3,00 m.

- 5.7 Las traviesas especiales de madera colocadas sobre los puentes metálicos sin balasto, deberán cumplir las exigencias necesarias para su función según las reglas establecidas en el país.

La distancia entre estas traviesas estará comprendida entre 100 y 150 mm.

- 5.8 Todos los puentes, así como los pasos superiores y viaductos, deberán llevar aceras laterales protegidas con barandas.
- 5.9 En los puentes metálicos cuando su longitud exceda los 100 m, se preverán dispositivos o soluciones que den continuidad en los rieles y que permitan la deformación libre.

Las agujas de los dispositivos de continuidad deberán coincidir con el sentido del tránsito principal (véase Fig. 12), excluyendo los casos en que tales dispositivos se ubicaran sobre los estribos o, también, cuando la superestructura vecina tiene la vía apoyada sobre balasto, en cuyo caso no importa la dirección de las agujas.

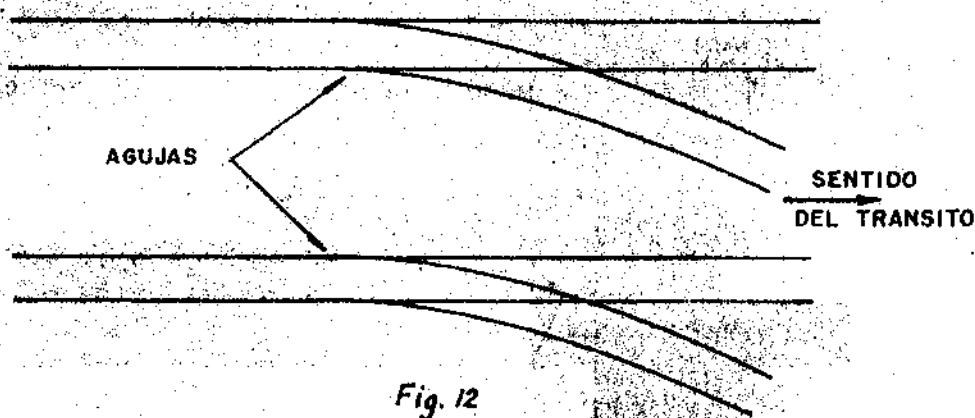


Fig. 12

- 5.10 En los terraplenes de acceso a los puentes, viaductos y pasos superiores, deberá utilizarse balasto de roca triturada o de grava, en una longitud no menor de 100 m a cada extremo.
- 5.11 A la entrada de los puentes sin balasto deberá asegurarse la fijación total de la vía, a fin de evitar el desplazamiento lateral de la misma.
6. Pavimentos en puentes de carreteras y urbanos
 - 6.1 El pavimento de los puentes será de hormigón armado o bituminoso.
 - 6.2 En los puentes urbanos o mixtos, la corona de los rieles del ferrocarril colocados en el pavimento común deberá responder con la superficie de este pavimento.
 - 6.3 La construcción de las juntas de deformación que se hacen en el pavimento, deberán garantizar la libertad de desplazamiento de las partes y conseguir un tránsito suave del transporte, preservando al mismo tiempo a las partes inferiores de la penetración de agua y suciedad.
7. Unión del puente con los terraplenes de acceso
 - 7.1 La construcción de la unión del puente con los terraplenes de acceso, debe garantizar una superficie que permita el paso suave.
 - 7.2 Los estribos masivos de los puentes deben construirse de tal forma y dimensiones, que con las cuales se garantiza con seguridad su rigidez como muros de contención para soportar terraplenes de acceso.
 - 7.2.1 En los puentes de ferrocarril debe disponerse, en la parte de los estribos contigua al terraplén, de construcciones que permitan contener el prisma de balasto contra su disgregación.
 - 7.3 En los puentes, la unión de los terraplenes de acceso, cumplirá las siguientes condiciones:
 - a) Una vez terminada la compactación del terraplén y del talud, la parte del estribo que conecta con el terraplén o la parte en voladizo de los aletones (en los puentes de carretera)

quedará introducida dentro del talud una longitud menor que 0,75 m para terraplenes hasta de 6,00 m de altura y no menor que 1,00 m para terraplenes de más de 6,00 m de altura.

Esto se medirá desde el vértice del talud, a la altura del borde del terraplén, hasta la cara del elemento que se intercepta con el terraplén (véase Fig. 13).

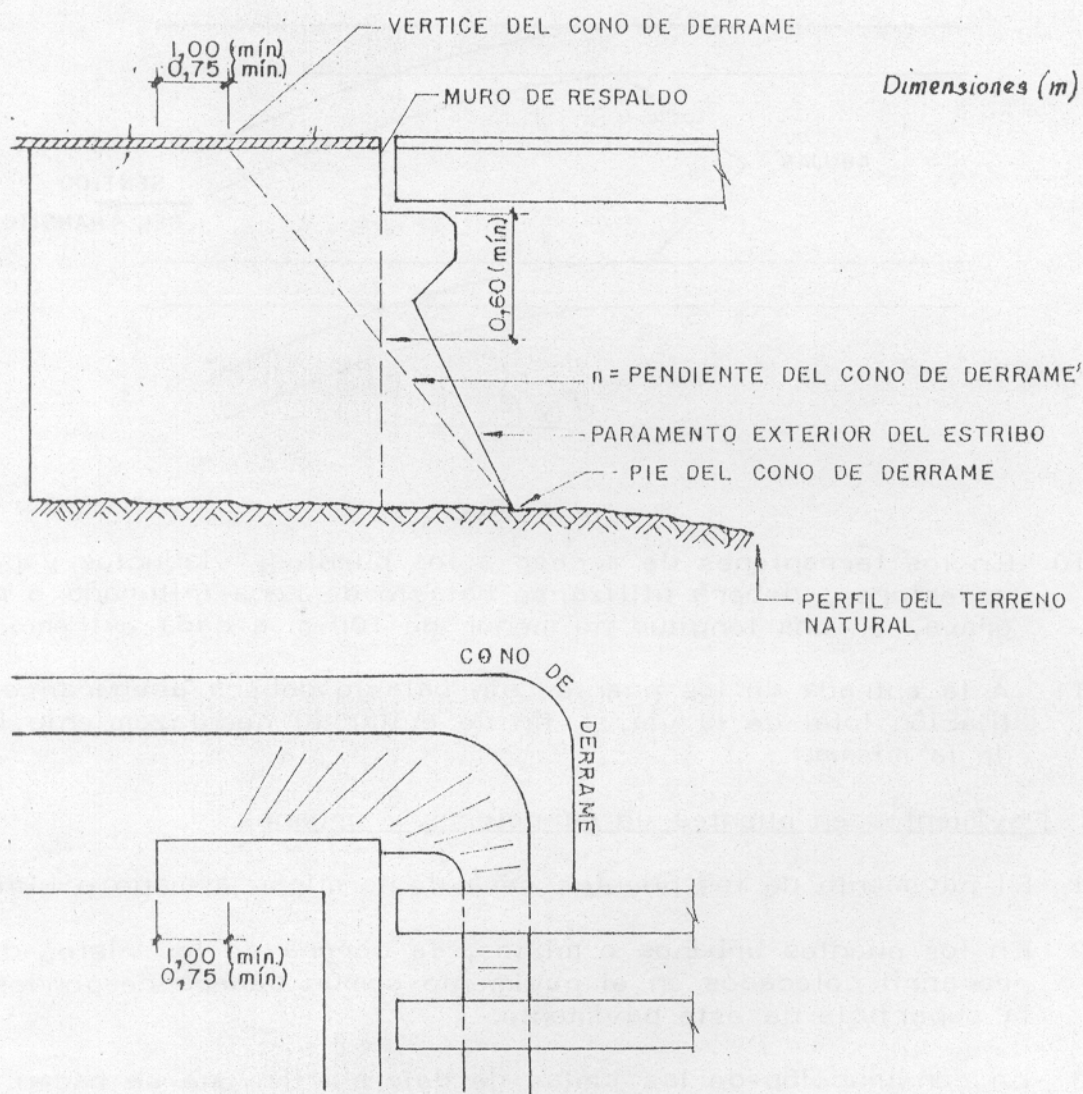


Fig. 13

- b) En los puentes de ferrocarril, los taludes deben pasar por debajo del apoyo (en el plano vertical del muro de respaldo) a una distancia no menor que 0,60 m.

El pie del talud (cono de derrame) en estribos cerrados, no debe sobresalir más allá del paramento exterior del estribo.

- c) Los conos de derrame en su unión con las caras laterales de los estribos, tendrán las siguientes pendientes: hasta una altura de 12,00 m, a partir del borde del terraplén, no mayor que 1:1,50.

- Las pendientes de los conos de derrame con una altura mayor de 12,0 m se determinarán por cálculo, pero no deberán ser nunca mayor que 1:1,75.

- 7.4 La construcción de los terraplenes detrás de los estribos de los puentes, sus taludes y conos de derrame, se harán con un material de buenas propiedades de drenaje y compactados adecuadamente.

Tal material colocado detrás de los estribos deberá extenderse en su parte superior, en una longitud igual a la altura del estribo más 2,0 m y en su parte inferior 2,0 m.

- 7.5 En los estribos abiertos de los puentes de todo tipo que no salven vías fluviales o que salvándolas del máximo nivel de las aguas no llegue a ellos, los taludes de los terraplenes del derrame frontal y lateral se protegerán con vegetación apropiada.

Cuando el nivel de las aguas llegue a los terraplenes, el talud de los mismos se protegerá con encachado de piedras duras con juntas cerradas con mortero de cemento o losa de hormigón armado de 0,10 m de espesor como mínimo, hasta una altura superior en 0,50 m a la cota de nivel de agua máxima. En la parte inferior del talud se construirá un replé de hormigón armado, con dimensiones no menores que 0,30 m de anchura y 0,60 m de altura.

8. Drenaje y aislamiento

- 8.1 En la construcción de puentes se asegurará un drenaje adecuado.

- 8.1.1 En el puente de ferrocarril cuando hay losa sobre la cual se deposita balasto, el drenaje se realizará por el tablero, debiendo tener una pendiente mínima del 3,0%, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, y el agua se evacuará mediante tubos de desagüe.

- 8.1.2 En puentes de carretera y urbanos, independientemente de su pendiente longitudinal, se dará una pendiente transversal a la superficie del pavimento entre el 1,5 al 2,0%.

El agua proveniente de la calzada y los paseos se evacuará por debajo de los pretilles si no hay contén; de existir éste, se colocarán conductos que atraviesen los mismos.

- 8.1.3 Para evacuar el agua detrás de los estribos, se construirá un sistema de drenaje adecuado.

- 8.2 Todas las superficies de las losas en contacto con el balasto, serán recubiertas con una capa impermeabilizante y ésta a su vez se protegerá con una capa de recubrimiento.

- 8.3 La capa impermeabilizante deberá ser completamente impermeable, elástica, duradera y resistente a los cambios de temperatura.

- 8.4 Las juntas de las losas que contienen el balasto en los puentes de ferrocarril y las juntas de las losas del tablero de los puentes de carretera, en las uniones de las vigas entre sí y en las uniones de éstas con los estribos, al igual que en las uniones

- Las pendientes de los conos de derrame con una altura mayor de 12,0 m se determinarán por cálculo, pero no deberán ser nunca mayor que 1:1,75.

- 7.4 La construcción de los terraplenes detrás de los estribos de los puentes, sus taludes y conos de derrame, se harán con un material de buenas propiedades de drenaje y compactados adecuadamente.

Tal material colocado detrás de los estribos deberá extenderse en su parte superior, en una longitud igual a la altura del estribo más 2,0 m y en su parte inferior 2,0 m.

- 7.5 En los estribos abiertos de los puentes de todo tipo que no salven vías fluviales o que salvándolas del máximo nivel de las aguas no llegue a ellos, los taludes de los terraplenes del derrame frontal y lateral se protegerán con vegetación apropiada.

Cuando el nivel de las aguas llegue a los terraplenes, el talud de los mismos se protegerá con encachado de piedras duras con juntas cerradas con mortero de cemento o losa de hormigón armado de 0,10 m de espesor como mínimo, hasta una altura superior en 0,50 m a la cota de nivel de agua máxima. En la parte inferior del talud se construirá un replé de hormigón armado, con dimensiones no menores que 0,30 m de anchura y 0,60 m de altura.

8. Drenaje y aislamiento

- 8.1 En la construcción de puentes se asegurará un drenaje adecuado.

- 8.1.1 En el puente de ferrocarril cuando hay losa sobre la cual se deposita balasto, el drenaje se realizará por el tablero, debiendo tener una pendiente mínima del 3,0%, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, y el agua se evacuará mediante tubos de desagüe.

- 8.1.2 En puentes de carretera y urbanos, independientemente de su pendiente longitudinal, se dará una pendiente transversal a la superficie del pavimento entre el 1,5 al 2,0%.

El agua proveniente de la calzada y los paseos se evacuará por debajo de los pretilles si no hay contén; de existir éste, se colocarán conductos que atraviesen los mismos.

- 8.1.3 Para evacuar el agua detrás de los estribos, se construirá un sistema de drenaje adecuado.

- 8.2 Todas las superficies de las losas en contacto con el balasto, serán recubiertas con una capa impermeabilizante y ésta a su vez se protegerá con una capa de recubrimiento.

- 8.3 La capa impermeabilizante deberá ser completamente impermeable, elástica, duradera y resistente a los cambios de temperatura.

- 8.4 Las juntas de las losas que contienen el balasto en los puentes de ferrocarril y las juntas de las losas del tablero de los puentes de carretera, en las uniones de las vigas entre sí y en las uniones de éstas con los estribos, al igual que en las uniones

- 9.3 En los puentes, viaductos y pasos superiores de ferrocarril con longitudes mayores que 50,0 m, se proveerán de plataforma refugios a 50,0 m de distancia a cada lado de la vía, colocados alternadamente.
- 9.4 Los refugios distarán uno de otro 25,0 m. Entre 25 y 50 m se dispondrá de un refugio aproximadamente en el centro del tramo.
- 9.4.1 En los terraplenes de acceso a los puentes de carretera, pasos superiores y alcantarillas, es preciso colocar pretilles.
- 9.5 Todas las estructuras metálicas de los puentes situados a una distancia menor que 5,0 m, de las partes en contacto con las líneas de voltaje, como también de las construcciones de fijación (de hormigón o hormigón armado) de las líneas eléctricas de contacto, serán conectadas a tierra con especial cuidado, para evitar posibles riesgos de formación de arcos voltaicos.
- 9.6 En los pasos superiores y puentes para peatones, bajo los cuales pasen redes eléctricas de alta tensión, se deberán prever tableros o sistemas de defensa que impidan posibles contactos con los vehículos o las personas.
- 9.7 Los puentes grandes y medianos atendiendo a su longitud, tendrán dispositivos que permitan pasar líneas de comunicaciones así como otros conductos, según se tengan en perspectiva para tal vía; en los puentes de ferrocarril se preverá además el paso de los cables de la red de contacto para los trenes eléctricos.

En los casos necesarios deberá disponerse la iluminación y los sistemas de señales para la navegación.

Los cables de la red de contacto, se sujetarán a elementos rígidos, unidos en forma fija a las estructuras del puente.

- 9.7.1 En los puentes urbanos, se permitirá colocar cerca del pretil las partes de la red eléctrica de contacto y del alumbrado, siempre que la anchura de la acera sea mayor o igual que 3,0 m.
- 9.8 Se prohíbe la colocación de los puentes en las líneas eléctricas de alto voltaje, así como también los gasoductos, oleoductos y colectores de alcantarillado.
- Se permite la colocación en el puente de las tuberías o conductos de vapor o agua caliente, abastecimiento de aguas y colectores de agua de lluvia, siempre que se justifique con una argumentación especial.
- 9.9 Los puentes móviles (levadizos, giratorios, basculantes) deberán tener señales de cierre de tránsito, a una distancia no menor que 50 m desde los extremos del puente. Las señales deberán quitarse sólo con la posición cerrada del puente.
- 9.9.1 Los puentes móviles de ferrocarril, igual que los puentes de una sola vía en los tramos de dos vías, deberán ser protegidos por vías muertas de seguridad, o por dispositivos de vía cerrada.

En los puentes con una longitud mayor que 500 m, deberán instalarse las señales luminosas de vía cerrada (semáforos).

MÉTODOS DE CÁLCULO

10. Cálculo de puentes y alcantarillas bajo la acción de corrientes de agua

- 10.1 El cálculo de los puentes, alcantarillas y terraplenes de accesos situados en valles de inundación, bajo la influencia de la corriente del agua, se realizará con los gastos de diseño (o sus niveles correspondientes) y cuya probabilidad de ocurrencia se indica en la tabla 4.

Tabla 4 Probabilidades de los gastos de diseño

Vías ferreas			Autopistas, carreteras y vías urbanas		
Tipo de estructura	Categoría de la vía	Probabilidad del gasto de diseño (%)	Tipo de estructura	Categoría de las vías	Probabilidad del gasto de diseño (%)
Puentes y alcantarillas	I	1	Puentes y alcantarillas	Autopista	1
	II	2		Carreteras I y II, urbanas nacionales	2
	III	5		Carreteras III y IV, urbanas regionales	5
				Carreteras V y VI	10

- 10.2 Los puentes y alcantarillas donde se prevea cambios de categoría de la vía, deberán ser proyectados para la probabilidad correspondiente a la categoría superior.
- 10.3 Cuando se produzcan niveles de agua no relacionados con los gastos debidos a olas, obstrucciones, cambios de lechos de los ríos, remansos formados por la presencia de obras hidrotécnicas y otros, la altura libre de las obras se determinará por estos niveles.
- 10.4 Cuando cerca de la vía proyectada se encuentran poblaciones, es necesario comprobar que por efecto de las inundaciones, no se afectan las mismas por la formación del remanso delante de la construcción.

10.5 El cálculo del área para el paso de las aguas en puentes y alcantarillas se realizará de acuerdo con los gastos que se determinan por los métodos de cálculo hidrológico establecidos, por las velocidades promedios de la corriente que pueda tolerar la superficie del lecho del cauce (que aseguran las condiciones normales de explotación), dependiendo además, del carácter de los suelos, el tipo de protección del cauce y los taludes e, inclusive, de las alturas libres que deben dejarse por debajo de la superestructura, según se indica en la tabla 3 de la presente norma.

10.6 Se permite proteger el cauce de los puentes contra la socavación en luces menores de 10 m, si se justifica técnicoeconómicamente.

10.7 El perfil del cauce socavado bajo los puentes, se realizará para el gasto de diseño.

- Al calcular la socavación es preciso tener en cuenta, además del estrechamiento general de la sección transversal por la construcción, las socavaciones locales en las pilas y en los estribos, la influencia de las obras de encauzamiento, así como las posibles modificaciones naturales que pueden tener lugar en el cauce
- El coeficiente de socavación general calculado con el gasto de diseño no puede superar los valores de la tabla 5, para la abertura calculada del puente. Al calcular el coeficiente de socavación, no se tiene en cuenta el área socavada ni los posibles cortes del terreno
- Cuando se requiera aumentar el área bajo el puente, puede hacerse un corte (excavación) en las zonas de valles de inundación

La magnitud del corte no será mayor del 25% del área bajo el puente, con excepción de los cauces artificiales.

- Además de cumplir por separado lo anterior, el área socavada y de corte del terreno adicionados no debe ser mayor del 50%, para los ríos no navegables y del 35%, para ríos navegables, que el área hidráulica calculada con el gasto de diseño correspondiente.

10.8 El coeficiente de socavación (α_1), es la relación entre el área hidráulica incluida la socavación y el área hidráulica calculada para el gasto de diseño sin la socavación.

$$\alpha_1 = \frac{A_i + A_{s1}}{A_i}$$

donde:

A_i área hidráulica sin socavación, (m^2)

A_{s1} área socavada (m^2)

El coeficiente de socavación depende de la velocidad del agua, el gasto por unidad de longitud del puente y las características del suelo. En la tabla 5 se dan los valores de α_1 máximos en función de:

$$q_0 = \frac{Q_0}{L_0}$$

donde:

Q_0 gasto de diseño (m^3/s)

L_0 longitud de la abertura que corresponde a socavación nula (m)

- 10.9 La profundidad desde la superficie inferior del cimiento, hasta las líneas de socavación, la establecerá el proyectista de acuerdo a los datos geológicos de cada caso.
- 10.10 El borde del terraplén de acceso a los puentes y alcantarillas con regímenes a presión y semipresión, así como de los diques, deberá elevarse en no menos que 1,00 m y el borde de las obras de encauzamiento y de las bermas del terraplén, deberá elevarse en no menos que 0,50 m sobre el nivel que corresponda al gasto de diseño.
- Se tendrá en cuenta la influencia de las olas sobre el talud y el remanso del cauce bajo el puente
 - Los taludes de los diques de tierra de las obras de encauzamiento orientados hacia el río, deben tener una pendiente no mayor que 1:2 y en la parte contraria no mayor que 1:1,5.
 - La anchura de la parte superior de los diques, no debe ser menor que 2,0 m.

Tabla 5 Coeficientes de socavación (α_1)

Gasto de diseño en m^3/s por metro de longitud de abertura	Coeficiente admisible de socavación general
Hasta 2	2,20
3	2,10
5	1,70
10	1,40
15	1,30
20 y mayor	1,25

11. Indicaciones generales sobre el cálculo estructural

- 11.1 El cálculo de las estructuras y cimientos de los puentes y alcantarillas bajo cargas y acciones, se realizará por el método de los Estados Límites.
- 11.2 En el cálculo de los Estados Límites, las magnitudes de las tensiones y deformaciones debido a las cargas y acciones consideradas, no deberán exceder unos valores límites, determinados de acuerdo a la parte correspondiente a esta norma y a la NC 53-039:78 "Cálculo y ejecución de obras de hormigón".
- 11.3 En el diseño de puentes y alcantarillas se realizarán los cálculos para los:
- a) Estado Límite Último, que son los correspondientes al valor máximo de la capacidad portante (resistencia, estabilidad de posición, vuelco y deslizamiento, estabilidad de la forma-pandeo-fatiga).
 - b) Estado Límite de Utilización, que son función de criterios de utilización normal o de durabilidad (deformaciones generales excesivas, desplazamiento, asentamientos, que dificulten la explotación normal, fisuración, ángulo de giro, vibración).
- 11.4 Las cargas características y otras acciones están determinadas de acuerdo con los valores más probables de las cargas permanentes y con los valores máximos de la carga accidental de explotación perspectiva.
- 11.5 Las resistencias de cálculo (R_k) de los materiales, se determinarán a partir de las resistencias características y de los coeficientes que se indiquen en la NC 53-39.
- Mediante estos coeficientes se toma en cuenta la disminución posible de la resistencia de los materiales y suelos en relación con los valores característicos, debido a la variabilidad de las propiedades mecánicas y falta de homogeneidad.
- 11.6 Acciones y sollicitaciones de cálculo
- 11.6.1 Las sollicitaciones de cálculo se determinan a partir de los valores característicos Q_k , teniendo en cuenta los coeficientes γ_s y γ_c .
- Se recomienda determinar las sollicitaciones en la generalidad de los casos, suponiendo el trabajo elástico o pseudo-elástico del material.
- 11.6.2 Además de los coeficientes γ_s y γ_c para obtener las acciones y sollicitaciones de cálculo, se deberán tener en cuenta, según corresponda, los coeficientes siguientes:
- Coeficiente dinámico o de impacto (C_D), para las cargas verticales móviles.
 - Coeficiente dinámico para cargas de construcción
 - Coeficiente de uso (ψ) para longitudes cargadas mayores que 25,0 m, de acuerdo al número de sendas cargadas simultáneamente

- Además deberán tenerse en cuenta en los cálculos, todas las otras disposiciones que sobre la aplicación de coeficientes se establezcan en la presente norma.

11.7 Coeficiente de sobrecarga para cargas o acciones y solicitaciones (γ_s). Este coeficiente considera las variaciones desfavorables de las acciones, la calidad de la obra, la coincidencia entre el cálculo y la realidad y la importancia del fallo.

- Para las cargas, acciones y solicitaciones permanentes, los coeficientes γ_s se dan en la tabla 6
- Para las cargas, acciones y solicitaciones accidentales móviles, los coeficientes γ_s se dan en la tabla 7
- Para sobrecargas ecológicas y otras cargas y acciones, los coeficientes γ_s se dan en la tabla 8
- Coeficientes de combinación de la carga accidental (γ_p). El valor viene dado en la tabla 7.

Nota. $\gamma_p = \gamma_c \cdot \gamma_s$

11.8 Consideraciones sobre la aplicación de coeficientes en los Estados Límites

11.8.1 Estado Límite Último

11.8.1.1 Resistencia y estabilidad de forma (pandeo)

- Los cálculos en el Estado Límite Último a resistencia y estabilidad de la forma (pandeo), son obligatorios para todos los puentes y alcantarillas, empleando para ello los coeficientes de cargas γ_s .
- Para la carga accidental vertical y sus acciones se tomará en cuenta también el coeficiente dinámico (C_D).
- En el cálculo a la estabilidad de la forma (pandeo) se deberá tener en cuenta, además, el coeficiente de flexión longitudinal (coeficiente de pandeo ϕ)
- Se tendrán en cuenta los coeficientes de combinación γ_c .

11.8.1.2 Fatiga

- Los cálculos a la fatiga se realizan para tableros de puentes metálicos de carretera y ferrocarril:
 - Para ferrocarril: Tableros de puentes de hormigón pretensado (estado de descompresión) y hormigón armado sometidos a acciones cíclicas
 - Para carreteras: Tableros de puentes de hormigón pretensado (estado de abertura de fisuras) y hormigón armado sometidos a acciones alternas.
- Cabezales y columnas de pórticos de pilas y estribos

- No se verificarán a la fatiga las pilas y estribos masivos, así como las alcantarillas
- Estos cálculos se realizarán considerando los valores de $\gamma_s = 1,0$ para las cargas permanentes y accidentales, incluyéndose en estas últimas el coeficiente dinámico o de impacto.
- Se tomará el valor del coeficiente $\gamma_p = 1,0$ para tener en cuenta solamente la combinación principal.

11.8.1.3 Estabilidad de posición

- Los cálculos a estabilidad de posición (contra el vuelco y deslizamiento) se realizan con los coeficientes de cargas γ_s , pero sin aplicar el coeficiente dinámico; se utilizarán además los coeficientes de vuelco γ_v y de deslizamiento γ_d , cuyos valores se indican en 13.1.1 y 13.2 respectivamente de esta norma
- Se tendrá en cuenta además los coeficientes de combinación γ_c .

11.8.2 Estado Límite de Utilización

- Los cálculos en el Estado Límite de Utilización se realizan:
 - Para las superestructuras, por el valor de las deformaciones y por el ángulo de giro de la línea elástica
 - Para las pilas y estribos, por el valor de los desplazamientos y asentamientos
 - Para las estructuras de hormigón armado o pretensado, por fisuración
- Los cálculos en el Estado Límite de Utilización, se realizarán comparando las deformaciones verticales y otros desplazamientos de la superestructura, asentamientos de las bases de los apoyos e índices que caracterizan la fisuración, en los elementos de hormigón armado o pretensado, con los valores correspondientes permitidos durante el proyecto y expuestos en esta norma
- En los cálculos en el estado límite de utilización, no se aplicarán los coeficientes de cargas, ni los de combinación.
- En el cálculo a la fisuración con la carga NK-80, se aplicará un coeficiente de reducción de 0,8.

11.8.3 Los coeficientes de pandeo ϕ y el coeficiente de minoración del material por fatiga, no se tomarán en cuenta simultáneamente.

Tabla 6 Coeficiente γ_s para las cargas y acciones permanentes

Tipo de carga	γ_s
Peso propio de los elementos metálicos	1,1 y 0,9
Peso propio de los elementos de hormigón armado	1,2 y 0,9
Peso de la vía (que incluye rieles, traviesas, eclisas, clavos y balasto) en los puentes de ferrocarril	1,3 y 0,9
Peso de las capas de relleno, aislamiento y protección, así como pavimentos de calzada y aceras de los tableros de puentes	1,5 y 0,9
Peso de las piezas de madera	1,3 y 0,9
Acción del empuje de tierra sobre los apoyos de puentes y alcantarillas	1,3 y 0,9
Acción de la retracción del fraguado y fluencia del hormigón	1,2 y 0,9
Acción del asentamiento del suelo	1,5 y 0,5

Notas:

- 1) Los coeficientes γ_s correspondientes a cada estado de cargas se usarían indistintamente el uno o el otro, pero no juntos a la vez dentro de los límites de las partes enteras de la obra.
- 2) Se tomarán los valores de γ_s mayores o menores que la unidad, cuando el efecto por ese aumento o disminución producido sean favorables a la seguridad.

Tabla 7 Coeficientes γ_s y γ_c para las cargas accidentales móviles y sus acciones

1. Para las combinaciones principales de cargas se aplicará $\gamma_p = \gamma_c \cdot \gamma_s$ donde $\gamma_c = 1,0$ y γ_s de acuerdo al cuadro siguiente:		
1	2	3
Equipo rodante ferroviario en puentes de ferrocarril	$\lambda = 0$	$\gamma_s = 1,3$

Tabla 7 (conclusión)

1	2	3
	$0 < \lambda < 50$	$\gamma_s = 1,3 - 0,03\lambda$
	$\lambda \geq 50$	$\gamma_s = 1,15$
Equipo rodante ferroviario en alcantarillas	$\lambda = 0$	$\gamma_s = 1,3$
Equipo rodante vacío		$\gamma_s = 1,0$
Para el convoy de vehículos H-30 en puentes de carretera		$\gamma_s = 1,4$
Para las cargas de ruedas HK-80		$\gamma_s = 1,1$
Donde λ es la longitud cargada de la línea de influencia, que se determina según lo indicado en el apartado 17.1.3.2 de esta norma y desconectando la longitud de las partes cargadas con el equipo rodante vacío.		
Cargas de aceras accesibles al público		$\gamma_s = 1,4$
Puentes peatonales		$\gamma_s = 1,4$
Aceras no accesibles al público		$\gamma_s = 1,2$
Pretilles		$\gamma_s = 1,3$
2. Para las combinaciones complementarias se aplicará $\gamma_c \cdot \gamma_s = \gamma_p$ donde $\gamma_c = 0,8$		
3. Para las combinaciones particulares se aplicará $\gamma_c \cdot \gamma_s = \gamma_p$ donde $\gamma_c = 0,7$		

Tabla 8 Coeficiente γ_s para las cargas ecológicas y otras cargas

γ_s			
Tipo de cargas Características	Tipos de combinación de cargas		
	Principal	Complemen- taria	Particular
Cargas de viento	1, 3	1, 3	1, 0
Cargas sísmicas	-	-	1, 0
Cargas de construcción:			
a) Esfuerzos de los gatos al levantar o trasladar	-	-	1, 3
b) Otras	-	-	1, 0

Notas:

- 1) Se utiliza la carga de viento como combinación principal según lo indicado en apartado 15.3.1 de la presente norma
- 2) Las magnitudes señaladas de los coeficientes de mayoración de las cargas de construcción deben ser, en los casos necesarios, corregidos contando con las condiciones concretas y los métodos de construcción.

12. Cálculo estático de las alcantarillas

- 12.1 Las alcantarillas de cajón se calcularán como marcos cerrados, comprobándose las paredes por el esquema de pórticos con los extremos empotrados.
- 12.2 Las alcantarillas de tubo se calcularán a momentos flectores (M) (sin considerar las fuerzas longitudinales y cortantes) por la fórmula:

$$M = V r^2 (p_1 + q) (1 - k_a)$$

donde:

p_1 y q son las presiones verticales de la carga permanente y de la móvil respectivamente, de acuerdo a lo establecido en los puntos 16.3.1 y 17.2.1.3 de esta norma.

r radio promedio del tubo (m)

V coeficiente que se adoptará de acuerdo a las condiciones de apoyo de los tubos y será de:

$V = 0,22$ cuando el tubo descansa sobre una capa de hormigón

$\nu = 0,25$ cuando el tubo descansa sobre un lecho de gravilla

k_a coeficiente de la presión lateral del material de relleno:

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi H}{2} \right)$$

12.3 Los elementos de las alcantarillas no se diseñan para el estado límite de deformación.

13. Cálculo de la estabilidad de posición de las estructuras

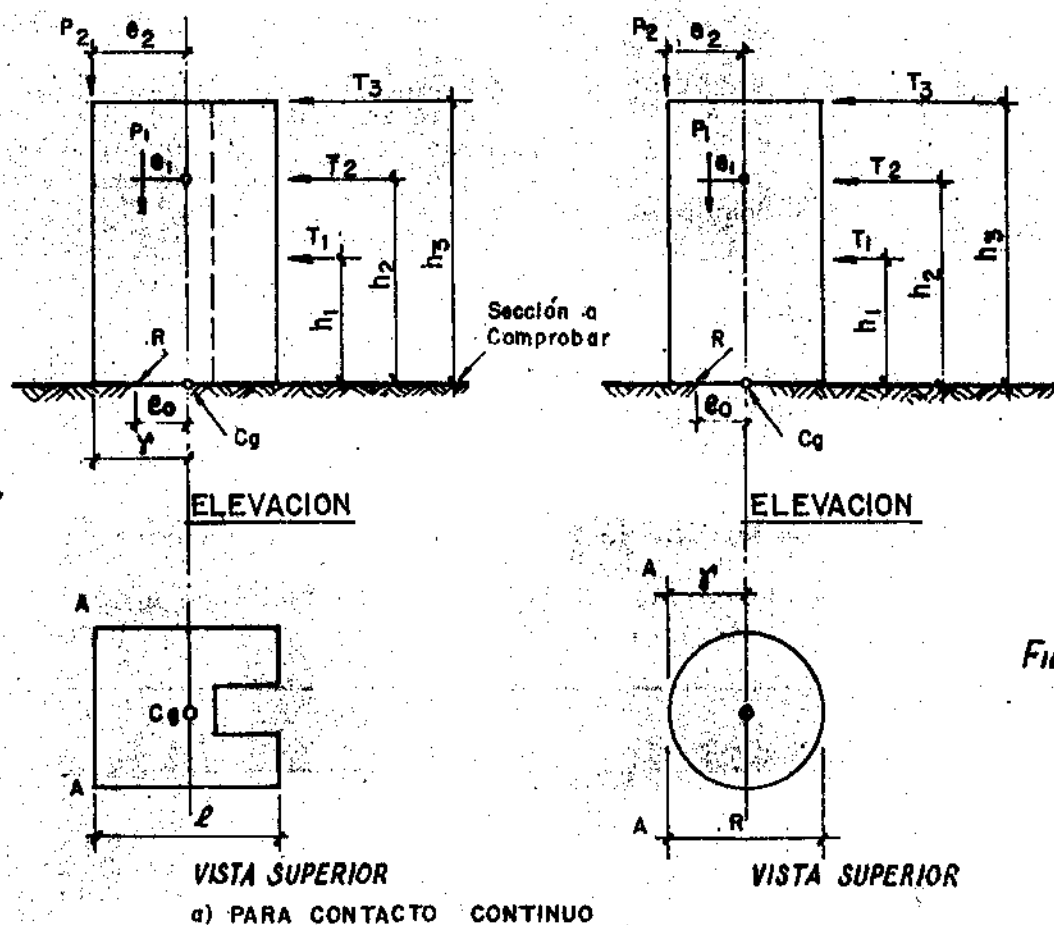
13.1 Los cálculos de la estabilidad de posición de las estructuras al vuelco y al deslizamiento, se efectuarán con las cargas características efectuadas con los coeficientes de sobrecarga, pero sin tomar en cuenta el coeficiente de impacto o dinámico (véase Fig. 14 a y 14 b)

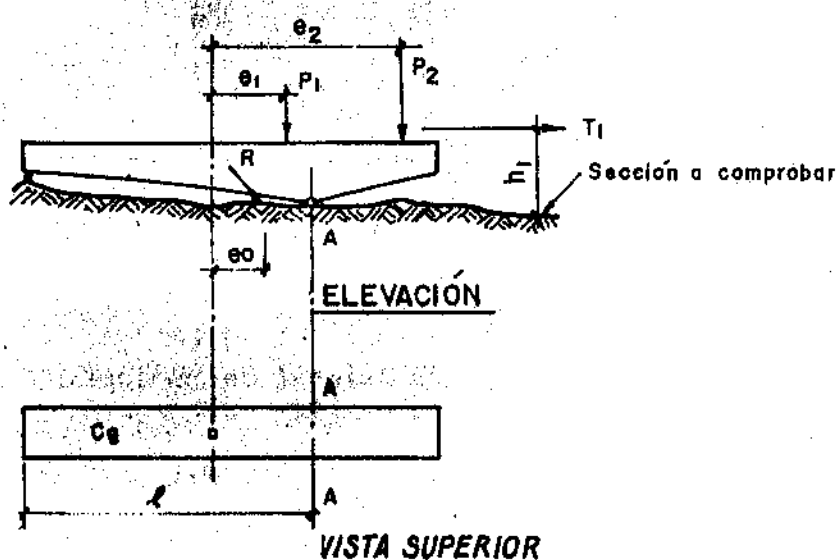
13.1.1 El cálculo de estabilidad al vuelco, se realizará por la siguiente fórmula:

$$\frac{M_v}{M_e} = \frac{e_o}{y} \leq \gamma_v$$

en la cual:

$$e_o = \frac{\sum P_i e_i + \sum T_i h_i}{P_i}$$





b) PARA CONTACTOS PUNTUALES

Fig. 14

donde:

M_v momento producido por las fuerzas que tienden a producir el vuelco (momento de vuelco)

M_e momento producido por las fuerzas que tienden a mantener la estabilidad de la estructura (momento estabilizante)

e_o distancia entre el centro de la gravedad de la sección hasta el punto de intersección de la resultante de las fuerzas P_i y T_i con el plano de la sección que se comprueba (excentricidad)

y distancia desde el centro de gravedad de la sección hasta la recta (o punto) A-A, como se indica en la figura, alrededor de la cual se comprueba el vuelco

P_i componente perpendicular a la sección que se comprueba, de cada una de las fuerzas actuantes

T_i componente paralela a la sección que se comprueba de cada una de las fuerzas actuantes y en particular deberá ser normal a la recta A-A, con respecto a la cual se comprueba el vuelco

e_i distancias de las fuerzas P_i , respecto al centro de gravedad de la sección que se comprueba

h_i distancia de las fuerzas T_i , respecto al centro de gravedad de la sección que se comprueba

C_g centro de gravedad

γ_v coeficiente de estabilidad al vuelco que se acepta:

- Para las estructuras soportadas en aparatos de apoyo o en puntos aislados:

- Para las estructuras soportadas en aparatos de apoyo o en puntos aislados:

en sentido longitudinal 0,90

en sentido transversal 0,85

- Para las secciones de estructuras de hormigón simple y mampostería de piedra, igual que para cimentaciones sobre suelo rocoso: 0,80

- Para las cimentaciones sobre suelos no rocosos: 0,70.

Los coeficientes de sobrecarga de las cargas permanentes se considerarán:

- Mayores que 1, cuando ayuden a provocar el vuelco
- Menores que 1, cuando tengan una acción estabilizante.

13.2 El cálculo de la estabilidad al deslizamiento se realizará por la siguiente fórmula:

$$\frac{T_{des}}{T_e} = \frac{\sum T_i}{\mu P_i} \leq \gamma_d$$

donde:

T_{des} fuerzas de cálculo que tienden a producir el deslizamiento de la estructura (fuerza de deslizamiento)

T_e fuerza de cálculo que tiende a evitar el deslizamiento (fuerza de fricción límite)

T_i suma geométrica de los componentes de las fuerzas actuantes paralelas a la sección que se comprueba

P_i componente de todas las fuerzas actuantes en dirección perpendicular a la sección que se comprueba

μ coeficiente de fricción que se acepta de acuerdo a las características de los materiales en contacto

γ_d coeficiente de deslizamiento que es igual a 0,8.

14. Cálculo de los asentamientos y deformaciones

- 14.1 Las deformaciones verticales (flechas) de las superestructuras de los puentes de hormigón, acero o mixtos, calculados como efecto de las cargas características verticales móviles, no excederá de los valores máximos fijados en la tabla 9.

Tabla 9 Flechas máximas admitidas en la superestructura para la carga vertical móvil

Tipo de estructura		Puentes ferrocarril	Puentes autop. y carret. de cat. I, II, III y IV	Puentes de carret. de cat. V y VI
Puentes isostáticos	Tramo simple	$\frac{l}{650}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$
	Tramos múltiples	$\frac{l}{800}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$
Puentes hiperestáticos		$\frac{l}{650}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$
Voladizos		$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{200}$
Armaduras		$\frac{l}{800}$	$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{600}$

Nota. l luz del tramo o del voladizo

- 14.2 Las deformaciones de la superestructura en los puentes de viga Gerber, se considerarán independientemente de las producidas en el tramo suspendido y en los voladizos. No obstante, se sumarán estos valores y se comparará, contra la deformación máxima permisible considerando el tramo completo como hiperestático.
- 14.3 En puentes de ferrocarril, en el extremo de voladizo, el ángulo de giro calculado para la carga vertical móvil característica y la carga permanente característica, incluyendo la contraflecha, no debe exceder del valor de 0,006.
- 14.4 En las superestructuras de vigas isostáticas metálicas en puentes de ferrocarril, el período calculado de las oscilaciones horizontales libres, no será mayor de 0,01 l_s , ni mayor de 1,5 s, donde l es la luz en m.
- 14.5 En las superestructuras de puentes de autopista, carretera, vías urbanas y pasarelas, el período de cálculo de las oscilaciones libres verticales no debe estar dentro del intervalo 0,3 a 0,7 s, y el período de oscilaciones horizontales no debe coincidir con el período de las oscilaciones verticales o ser múltiplo de él.
- 14.6 Los asientos de la cimentación de los apoyos, calculados para la carga permanente característica de acuerdo a las indicaciones de la Mecánica del Suelo y los desplazamientos horizontales de la parte superior de los apoyos, dirigidos tanto en dirección longitudinal, como transversal al eje del puente, calculados con las combinaciones complementarias de las cargas características, no deben alcanzar valores que dificulten su uso o explotación normal. Estos valores se determinarán en

cada caso particular en dependencia del tipo de la superestructura (incluyendo los aparatos de apoyo y las articulaciones), las tolerancias admitidas en las uniones de las juntas de deformaciones de las vías y material del pavimento, de las condiciones de enlace del puente con los accesos y teniendo en cuenta que hay que garantizar el espacio libre bajo el puente.

Los valores límite permisibles (en cm) para el proyecto, no excederán de los valores siguientes:

Asiento total uniforme (a) de un apoyo:

$$a \leq 1,5 \sqrt{l}$$

Asiento diferencial (a) entre dos apoyos contiguos.

$$a \leq 0,75 \sqrt{l}$$

Desplazamiento horizontal (d) de la parte superior del apoyo para puentes de ferrocarril: $d = 0,5 \sqrt{l}$; para autopistas y carreteras: $d \leq \sqrt{l}$, donde: l longitud de la luz menor contigua al apoyo, expresada en m.

Si l es menor de 25 m en las expresiones anteriores, se sustituirá por 25 m.

Para los puentes hiperestáticos, los asentamientos y desplazamientos de los apoyos, estarán en dependencia de los valores establecidos o de los valores de cálculo en los estados límite último y de fisuración

- 14.7 A la vía férrea y al pavimento deberá dársele la contraflecha, que asegura un movimiento suave de trenes, vehículos y otros, con ángulos mínimos de giro del perfil de la vía o pavimento sobre los apoyos extremos y medios del puente, así como sobre las articulaciones en cualquier posición de la carga vertical móvil.
- 14.8 La contraflecha de la vía férrea y del pavimento se dará con el espesor de la losa del tablero, con los cambios de espesor de la capa de balasto o con las traviesas, de acuerdo al perfil de la rasante y además con la contraflecha de las superestructuras.

En las superestructuras cuya flecha, debido a la carga característica permanente y a la carga accidental del material rodante, no exceda al 1,5 cm ó $1/1\ 600$ de la luz, se permitirá no prever la contraflecha.

- 14.9 En el cálculo de las contraflechas de pórticos, se tendrán en cuenta el efecto del empuje de tierra, variaciones de temperatura y retracción y fluencia del hormigón; debiéndose tener en cuenta, cuando corresponda, los efectos del pretensado. Los factores mencionados deben tomarse en cuenta, además, ubicando las juntas de deformación.

- 14.10 En las superestructuras de vigas isostáticas se dará una contraflecha de curva continua (parábola de segundo grado o arco de círculo) que toma en cuenta la deformación (elástica y plástica) por la carga característica permanente y la mitad de la carga característica accidental vertical móvil, debiéndose tener en cuenta cuando correspondan los efectos del pretensado.
- 14.11 En las superestructuras en esviaje y otras que estén cargadas excéntricamente para puentes de ferrocarril, se les dará una rigidez tal y la correspondiente contraflecha, de modo que la diferencia de elevación de un riel con respecto a otro, en dirección normal de la vía, al paso de las cargas móviles, no exceda de los valores permisibles.
- 14.12 Las alcantarillas con cimentación directa deberán colocarse con una contraflecha de $\frac{1}{80} H$, si el suelo es arenoso y de $\frac{1}{50} H$, si el suelo es arcilloso (donde H , es la altura del terraplén, o sea, la distancia vertical comprendida entre la rasante y la invertida de la alcantarilla).

En suelos muy desfavorables, la contraflecha se pondrá de acuerdo al asentamiento, calculado con el peso del terraplén según las indicaciones de la Mecánica de los Suelos.

Para evitar el estacionamiento de las aguas (sobre todo en el período inicial del uso de la alcantarilla), la cota de la invertida del canal a la entrada, deberá ser igual o mayor que la cota del tramo medio de la alcantarilla, incluida la contraflecha.

CARGAS Y ACCIONES

15. Especificaciones generales

- 15.1 Las cargas deben determinarse para los cálculos en las posiciones y combinaciones más desfavorables posibles, durante la explotación y construcción de la obra para cada uno de los elementos o partes de la misma.
- 15.2 En el cálculo de las estructuras y sus cimientos en puentes y alcantarillas, se consideran las cargas y acciones características que actúan sobre ella, según la tabla 10.

Tabla 10

No. Orden	Nombre de las cargas y acciones	No se combinan con las cargas de los números indicados
	A. <u>Cargas y acciones permanentes:</u>	
1	Peso propio	
2	Acción del pretensado	
3	Acción del empuje de tierra	
4	Presión hidrostática	
5	Acción de la retracción del hormigón	
6	Acción de asentamiento del suelo	
	B. <u>Cargas accidentales y sus acciones</u>	
7	Cargas verticales móviles	
8	Acción del empuje de suelo debido a la carga accidental móvil	
9	Acción horizontal-transversal de la fuerza centrífuga	10; 13
10	Acción debida a los impactos horizontales transversales	9; 11; 12; 13
11	Acción horizontal-longitudinal, de frenado y arranque	10; 13; 15
	C. <u>Otras cargas y acciones:</u>	
12	Cargas de viento	10; 13
13	Carga sísmica	9; 10; 11; 12; 14; 16; 17
14	Acción por la variación de temperatura	13
15	Acción por la fricción de los aparatos de apoyo	11
16	Carga de construcción	Ver nota
17	Presión hidrodinámica	11; 13
18	Carga de aceras	
19	Carga de pretilas	

Nota. Las cargas de construcción se combinarán con las cargas permanentes y en el caso de las cargas accidentales y otras cargas, se combinarán sólo en función del tipo de proyecto, el proceso constructivo o ambos, pero nunca con la carga sísmica.

15.3 Las combinaciones de las cargas y acciones que se consideran en el cálculo y que se diferencian por la probabilidad de la coincidencia simultánea, se dividen en:

- a) combinaciones principales, son aquellas donde sólo intervienen una o varias de las siguientes cargas:
 - Cargas y acciones permanentes
 - Cargas verticales móviles
 - Acción del empuje del suelo debido a la carga accidental móvil
 - Fuerza centrífuga.
- b) combinaciones complementarias, en las cuales, junto con una o varias de las cargas que intervienen en las combinaciones principales, se incluye una o varias de las cargas restantes, excepto la carga sísmica y de construcción. En los puentes de autopistas, carreteras y urbanos no se incluye la carga HK-80, en esta combinación.
- c) combinaciones particulares, son aquellas donde independientemente de las cargas que intervengan en la combinación, se incluyen además las cargas sísmicas o de construcción.

15.3.1 En el cálculo de los elementos de arriostramiento, en los cuales no actúa la carga vertical móvil, se considerará como combinación principal las cargas o acciones que correspondan al diseño directo del elemento, excepto la carga de sismo que siempre se considerará como particular.

15.3.2 Para el cálculo de las pilas y estribos de los puentes, los esfuerzos producidos por las combinaciones complementarias o particulares se determinarán transversal y longitudinalmente al puente, por separado.

15.4 En el estado límite de fatiga, los cálculos se realizarán sólo para combinaciones principales de carga.

15.5 En el estado límite de deformación, los cálculos se realizarán sólo para las combinaciones principales de carga; se exceptúa de lo anterior el cálculo del desplazamiento horizontal de la parte superior de la subestructura que se efectúa para la combinación complementaria de las cargas.

16. Cargas y acciones permanentes características

16.1 Peso propio. La carga característica vertical de peso propio se compone de:

- a) Peso de los elementos de la estructura, determinados de acuerdo a los pesos volumétricos de los materiales con que se construya y que se dan en la tabla 11
- b) El peso propio de elementos estructurales de sección variable se puede considerar como uniformemente distribuido en toda su longitud, siempre que este valor no supere en un 10% del peso que corresponda a la sección predominante

- c) El peso propio de los arcos de sección variable se permitirá determinar dividiéndolos, al menos, en 20 segmentos o de acuerdo con la ecuación de la curva del eje del arco y la variación de los espesores
- d) Pesos de otros materiales, piezas o accesorios, tales como: relleno, pavimento, contenes, aceras, pretiles, balasto, traviesas, rieles y sus conexiones, tuberías, cables, postes, faroles, determinarán en cada caso de acuerdo con la clase y tipo del mismo; teniendo en cuenta, además, la posibilidad de futuros incrementos.

Tabla 11. Pesos volumétricos característicos

Material	Peso volumétrico (γ_H)
	kgf/m ³
Acero	7850
Hierro fundido	7200
Plomo	11400
Aluminio (laminado)	2700
Aluminio en aleaciones	2800
Hormigón en masa	2400
Hormigón armado:	
- agregados ligeros	1200 a 2000
- agregados normales	2500
- agregados pesados	2800
Pavimento asfáltico	2400
Balasto de piedra picada	1800
Material de mejoramiento	1700
Balasto con traviesas, eclisas, riel y clavos	2000
Madera	500 a 900
Suelo con humedad natural	1700
Suelos no coherentes secos	1800
Suelos no coherentes húmedos	2100
Suelos coherentes	2100

Nota. Para hormigones armados o pretensados con cuantías geométricas superiores al 2,5%, el peso volumétrico se calculará por la fórmula:

$$\gamma_H = 2400 + 5400 \alpha = 2400 + 0,7 \beta$$

donde:

γ_H peso volumétrico, en kgf/m³

α volumen de armadura por metro cúbico de hormigón

β peso en kgf de acero por metro cúbico de hormigón.

16.2 Acción del pretensado. Se calculará de acuerdo con la literatura especializada, en particular para estructuras hiperestáticas.

16.3 Acción del empuje de tierra

16.3.1 La presión característica vertical (p), expresada en tf/m^2 , se determinará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$p_1 = C \gamma_H H_1$$

donde:

γ_H peso volumétrico característico del material de relleno

H_1 altura de la capa de relleno medida desde la base del riel, en las vías de ferrocarril, o desde la superficie de la calzada, en las carreteras o autopistas, hasta el nivel superior de la alcantarilla o del cimiento del estribo.

En el caso de pilas o paramentos anteriores de estribos, la altura H_1 se medirá desde el nivel del terreno natural o relleno hasta la parte superior del cimiento.

C coeficiente adimensional que se determina de acuerdo a:

- En el caso de estribos y pilas, el valor de C es igual a 1,0
- En el caso de alcantarillas, el valor de C se determinará por la fórmula:

$$C = 1 + A k_a \tan \varphi_H$$

k_a coeficiente de presión activa: $k_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_H}{2})$

φ_H ángulo de fricción interna característica del material de relleno

A coeficiente que se determina de acuerdo a las expresiones siguientes:

$$\text{Si } \frac{Sh}{H_1} \geq \frac{H_1}{D} \text{ entonces } A = \frac{H_1}{D}$$

Si lo anterior no se cumple, entonces:

$$A = \frac{Sh}{H_1} \left(2 - \frac{SDh}{H_1^2} \right)$$

donde:

h distancia vertical desde la parte superior de la alcantarilla a la superficie inferior del terraplén (véase Fig. 15)

D anchura de la alcantarilla por el contorno exterior.

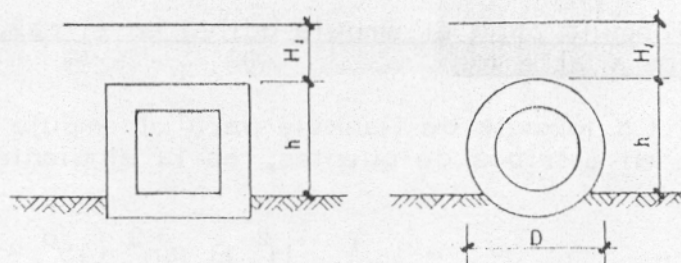


Fig. 15

S coeficiente que depende de las características del suelo que le sirve de base o apoyo a la alcantarilla (véase tabla 12).

Tabla 12

Características del suelo de cimentación	S
Material muy rígido (rocoso, igualmente para cimiento sobre pilotes)	15
Base de materiales compactos (arenas menos compactas, tierras arcillosas y arcillas duras)	10
Base de materiales blandos (arena, tierras arcillosas y arcillas plásticas blandas)	5

Nota. En el caso de proyectos típicos de alcantarillas se tomará el valor de $S = 10$ (condición media) por los elementos prefabricados que no deberán colocarse directamente sobre base rocosa o sobre cimiento de pilotes, sino que es necesario situar previamente un colchón de grava y arena sobre la que se apoyará la alcantarilla. De existir una base de materiales blandos, para usar el proyecto típico deberá procederse a mejorar el suelo, siempre que esto sea posible, en caso contrario, deberá hacerse una cimentación apropiada para el caso.

- 16.3.2 La presión característica horizontal (e_p), expresada en tf/m^2 , se determinará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$e_p = k_a \gamma_H H$$

Los valores k_a , γ_H y H , han sido definidos anteriormente.

- 16.3.3 Empuje total característico contra los estribos de los puentes debido al peso del material del terraplén y del terreno bajo el mismo

16.3.3.1 Para el cálculo del empuje característico del material del terraplén y el suelo natural bajo el mismo, se empleará corrientemente la fórmula de Rankine, que se limita al caso del paramento posterior vertical y que no considera rozamiento entre el paramento posterior del estribo y el material del terraplén o del suelo bajo el mismo; en el caso en que ese rozamiento sea permanente y el paramento posterior del estribo sea plano y con una inclinación cualquiera, se podrá emplear la fórmula de Coulomb.

16.3.3.2 Fórmula para el empuje activo en el caso de estribos cerrados y abiertos

16.3.3.2.1 La fórmula de Rankine para el empuje activo resultante en estribos de puentes, es la siguiente:

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma_H H^2 B \tan^2 (45^\circ - \varphi_H/2)$$

donde:

P_A empuje activo total horizontal aplicado a 1/3 de la base de la cimentación del estribo

γ_H peso específico característico del material del terraplén o suelo bajo el mismo en estado de saturación y siempre que el terraplén junto al estribo esté perfectamente drenado

H altura del estribo desde la base de la cimentación hasta la parte inferior delriel o la superficie del pavimento

B anchura del estribo en contacto con el terraplén

φ_H ángulo de rozamiento interno característico del terraplén o del suelo bajo el mismo.

16.3.3.2.2 La fórmula de Coulomb para el empuje activo total en estribos de puentes, es la siguiente:

$$P_A = \frac{1}{2} H^2 B \frac{\cos^2 (\varphi_H - \omega)}{\cos^2 \omega \cos (\delta + \omega) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\delta + \varphi_H) \sin (\varphi_H - i)}{\cos (\delta + \omega) \cos (\omega - i)}} \right]^2}$$

donde:

P_A empuje activo total con la inclinación aplicada a $1/3$ de H desde la base de cimentación del estribo

φ_H ángulo de rozamiento interno del material del terraplén o del suelo bajo el mismo

δ ángulo que forma P_A con la normal al paramento posterior del estribo (generalmente entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ de φ_H)

ω ángulo que forma con el plano vertical que pasa por el extremo posterior de la cimentación, el paramento posterior del estribo

δ_H , H y B tienen igual significación que en la fórmula de Rankine

i ángulo de inclinación del perfil superior rectilíneo del terreno.

Nota. Cuando no se garantice el rozamiento permanente entre el paramento posterior del estribo y el relleno, la fórmula de Coulomb se deberá aplicar tomando $\delta = 0$.

16.3.3.2.3 En ambas fórmulas se consideran que el material del terraplén y el suelo bajo el mismo, no son coherentes. Igualmente se considera que el empuje que actúa corresponde al estado activo.

En el caso en que la parte superior del estribo no tuviera libertad de movimiento porque la superestructura estuviera rígidamente unida al estribo, el estribo fuera en forma de U o se apoyará en la superestructura o se cimentará en roca compacta, se incrementaría el valor de P_A en un 25%.

16.3.3.2.4 Si el suelo natural bajo el terraplén consiste en uno o varios estratos, cada uno de espesor constante y paralelos a la superficie del terraplén, el empuje producido por estos estratos se puede calcular considerando el peso en la parte superior de cada estrato como una sobrecarga producida por el estrato a los estratos superiores a aquel en que se calcula el empuje.

16.3.3.2.5 En ningún caso se considerará que el suelo bajo el terraplén en la parte anterior del estribo, ejerza ninguna clase de empuje contra el estribo; a no ser que la base del estribo esté construida dentro de roca y en contacto con ella.

16.3.3.3 Estribos abiertos

16.3.3.3.1 En el caso de estribos abiertos, el empuje en cada columna o pilote se calculará que actúa en una anchura B igual a la distancia entre los ejes de las columnas o pilotes, si la separación entre los lados de las columnas o pilotes es igual o menor que dos veces la anchura de esos elementos; si la separación fuera mayor, la anchura B sería igual a 2 veces la anchura de la columna o pilote. En la cimentación, la anchura B es igual a la distancia entre los bordes exteriores de los cimientos extremos.

16.3.3.3.2 Si se asegura la permanencia del material del terraplén delante de las columnas o pilotes, se podrá considerar el empuje activo de ese material, pero teniendo en cuenta que la superficie del mismo tiene un talud negativo.

Notas:

- 1) El empuje en los aletones se calcula en forma análoga a los estribos, teniendo en cuenta que H es variable a lo largo del mismo.
- 2) Cuando las condiciones locales no permiten la construcción del drenaje y el agua pueda acumularse hasta cierta altura, es necesario adicionar al empuje del material del terraplén con un valor sumergido, la presión hidrostática en la altura de inundación.
- 3) Cuando el terraplén descansa en roca o cuando el terraplén o el suelo bajo el mismo no sean homogéneos o estratificados, se harán estudios especiales. Igualmente se harán estudios especiales para el cálculo del empuje en los estribos en voladizo y con contrafuertes.
- 4) Los datos de las propiedades del suelo, el espesor de los estratos y otros, así como el material del terraplén, se obtendrán del informe geotécnico del lugar de emplazamiento del estribo.
- 5) Para cimientos profundos (de pilotes, pilares, cajones) el valor del empuje horizontal por debajo de la superficie natural del terreno, se determinará de acuerdo a la literatura especializada.

16.4 Presión hidrostática característica. Se aplicará a todas las partes de la obra sobre los cuales actúe y a los suelos situados por debajo del nivel de las aguas superficiales y freáticas:

- En arenas, arenas arcillosas, suelos arcillosos y limosos, en todos los casos
- En arcillas, sólo en los casos en que esto cree las condiciones de cálculo más desfavorables

El nivel de agua a considerar será el más desfavorable, sea superior o inferior.

La acción de la presión hidrostática se considerará por medio de:

- a) Disminución de la presión característica producida por el peso propio de las partes de la obra y del peso del suelo situado sobre la cimentación y en otros elementos de la construcción
- b) Disminución de las resistencias de diseño de acuerdo con la Mecánica del Suelo, de las arenas, arenas arcillosas, terrenos arcillosos y limosos situados bajo la cimentación y estando ellos saturados de agua.

- El peso volumétrico o específico del suelo teniendo en cuenta la presión hidrostática, se determinará por la fórmula:

$$\gamma' = \gamma_{\text{saturado}} - \gamma_w \quad \delta$$

$$\gamma' = \gamma_d - \left(\frac{1}{1 + e} \right) \gamma_w$$

donde:

γ' peso volumétrico o específico del suelo sumergido

γ_d peso volumétrico o específico de las partículas sólidas del suelo seco

γ_{saturado} peso volumétrico o específico del suelo saturado

γ_w peso volumétrico o específico del agua; se toma generalmente igual a 1,0 tf/m³

e índice de poros (relación de vacíos).

16.5 Acción característica de la retracción del hormigón

- Esta acción se considerará para las estructuras hiperestáticas y su valor será equivalente a la disminución de la temperatura:
 - a) Para estructuras de hormigón armado y pretensado en 20°C
 - b) Para estructuras de hormigón simple en 30°C
- Si el proyecto contemplara el orden de ejecución del hormigonado que garantice la retracción del hormigón antes del cierre de la obra, incluso en las estructuras prefabricadas, entonces los valores equivalentes señalados de la disminución de temperatura, pueden ser reducidos con la debida argumentación, pero no más que en 10°C

- Cuando se considere la fluencia del hormigón, la acción de la retracción se tomará de acuerdo a lo establecido en la NC 53-39.
- La acción de la retracción no se considerará en los casos en que ella disminuya el valor total del esfuerzo de diseño.
- La acción de la retracción en las estructuras pretensadas y mixtas, estará de acuerdo a lo establecido en la NC 53-39.

16.6 Acción característica del asentamiento del suelo. La acción característica del asentamiento del suelo bajo los cimientos de los apoyos de los puentes con superestructuras hiperestáticas, se tendrá en cuenta para el proyecto según la literatura especializada.

17. Cargas accidentales y sus acciones

17.1 Cargas verticales móviles

17.1.1 Para puentes de autopistas, carreteras y urbanas. El diseño de los puentes de autopistas, de carreteras y vías urbanas, se realizará con la carga N-30 y NK-80 y de acuerdo a las disposiciones establecidas en la presente norma.

17.1.1.1 Cargas características N-30. La carga accidental característica N-30 se considerará formada por un convoy limitado de vehículos con un peso de 30,0 tf cada uno y cuyas características se indican en la Fig. 16 y en la tabla 13.

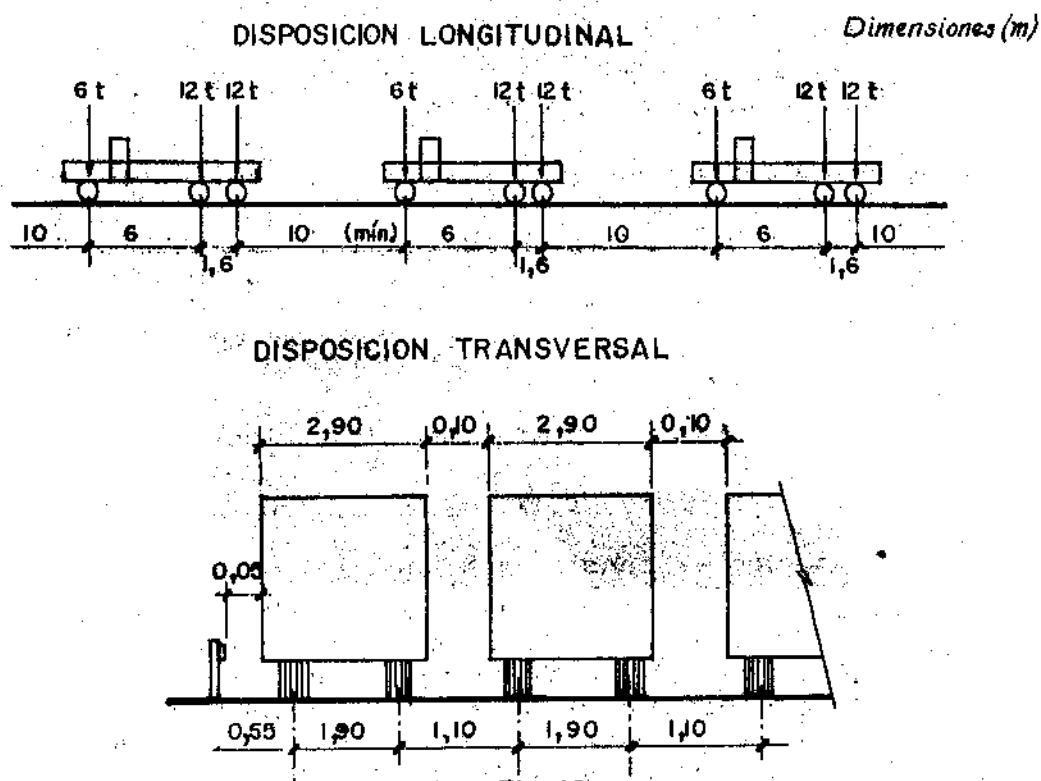


Fig. 16

Tabla -13 Datos principales del vehículo de carga N-30

No.	Características principales	Unidad de medida	N-30
1	Peso del vehículo cargado	tf	30
2	Peso del eje: eje delantero eje posterior	tf tf	6,0 (2x12)
3	Anchura del neumático posteriores delantero	m m	0,6 0,3
4	Longitud del área de contacto del neumático con el pavimento	m	0,2
5	Distancia entre ejes	m	6,0 + 1,60
6	Anchura de la carrocería	m	2,90
7	Distancia entre ejes de ruedas de un mismo eje	m	1,90

a) anchura de la calzada. Se define como anchura de la calzada, a la distancia comprendida entre paramentos interiores de los pretil-defensa o de los contenes (incluye calzada de recirculación y paseo).

b) colocación de los vehículos

- La colocación transversal de los vehículos en toda la anchura de la calzada se realizará situando cualquier número de convoyes de vehículos paralelos al eje del puente y en el mismo sentido, con el objetivo de producir los efectos más desfavorables, para lo cual se tendrá en cuenta las siguientes condiciones:
 - La distancia transversal entre los ejes contiguos de dos vehículos circulando en la misma dirección, no podrá ser menor de 1,10 m
 - La distancia transversal de un eje al borde del paramento interior de un pretil-defensa, o contén, no deberá ser menor de 0,55 m.
- La colocación longitudinal del convoy se realizará variando la distancia entre vehículos, si la misma produce efectos más desfavorables en el tablero.

- c) Reducción de la carga N-30 atendiendo al número de sendas cargadas. Cuando la longitud cargada sea mayor que 25,0 m, se aplicará una reducción al valor de la carga N-30 de acuerdo al número de columnas de vehículos colocados transversalmente, según como se indica en la tabla 14.

Tabla 14

Cantidad de columnas de vehículos colocados transversalmente	2	3	4 y más
Coefficiente de uso ψ	0,9	0,8	0,7

d) Carga equivalente

- Se permitirá sustituir la carga N-30 para el diseño de los elementos principales del tablero (vigas longitudinales, arcos y pórticos), por una carga uniformemente distribuida equivalente (véase Anexo A).
- A la carga vertical N-30 se le aplicará el coeficiente dinámico o de impacto, de acuerdo a lo establecido en el apartado 17.1.3.1, así como su respectivo coeficiente de sobrecarga.

- 17.1.1.2 Carga NK-80. La carga especial NK-80 se considera constituida por un solo vehículo sobre ruedas, con un peso de 80 tf y cuyas características se indican en el Fig. 17 y tabla 15.

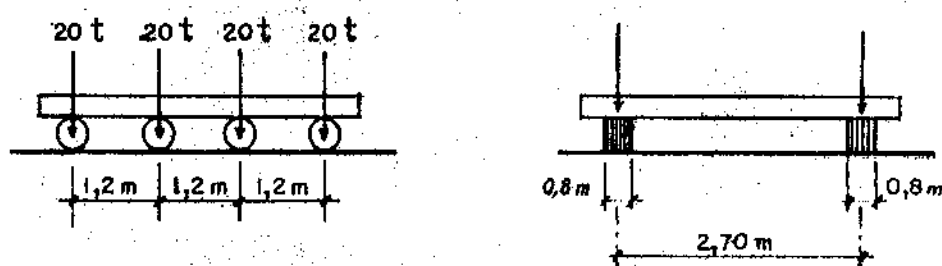


Fig. 17

Tabla 15 Datos principales del vehículo tipo NK-80

No.	Características principales	Unidad de medida	NK-80
1	2	3	4
1	Peso del vehículo	tf	80
2	Peso por eje	tf	20
3	Anchura de la rueda	m	0,8

Tabla 15 (conclusión)

1	2	3	4
4	Longitud de contacto de la rueda con el pavimento en dirección del movimiento	m	0, 2
5	Distancia entre los ejes del vehículo	m	1, 2
6	Distancia entre los ejes de las ruedas de un mismo eje	m	2, 7

- a) Colocación del vehículo. La colocación transversal del vehículo NK-80 se realizará situando un solo vehículo paralelo al eje del puente y en aquella posición que produzca el efecto más desfavorable en el elemento que se considera, pero nunca a una distancia menor de 0,65 m medida ésta desde el borde del contén o pretil-defensa hasta el eje de la rueda.
- b) Carga equivalente
- Se permitirá sustituir la carga NK-80 para el diseño de los elementos principales del tablero (vigas longitudinales, arcos y pórticos), por una carga uniformemente distribuida. Véase Anexo A.
 - No se aplicará coeficiente dinámico o de impacto a la carga NK-80
 - En los cálculos a la fatiga, la carga NK-80 no se considera y en los cálculos a la fisuración, se adoptará con el coeficiente 0,8
 - En los puentes de autopistas, carreteras y vías urbanas, la carga NK-80 no se incluye en las combinaciones complementarias, ni en las particulares
 - La carga NK-80 no se considera en combinación con la carga característica de aceras en puentes de autopistas, carreteras y vías urbanas.

17.1.2 Para puentes de ferrocarril

- El diseño de los puentes de ferrocarril de categoría I y II se realizará con la carga característica C-10, compuesta de un grupo de cargas concentradas cuyo valor máximo es de 25 tf, por eje, la cual se asimila para su utilización a una carga equivalente uniformemente distribuida "q" en toneladas por m de vía y que se determina de acuerdo a la tabla 16.

En el cálculo de la fatiga, los valores de la carga normativa se afectarán con un coeficiente 0,9 para todas las luces, con el propósito de tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia de la carga.

Tabla 16

APLICACION DE LA CARGA EQUIVALENTE (q)				
	Relación $\alpha = a/\lambda$	$\lambda < 1,5$	$1,5 \leq \lambda \leq 50$	$\lambda > 50$
	Centro $\alpha = 0,5$	$Q = 2,5 K (t)$	$q (t/m)$	$q = K(t/m)$
	Sección X $0 < \alpha \leq 0,5$	-	q	interpolan entre q y K
	Apoyo $\alpha = 0$	$Q = 2,5 K (t)$	q	q
	Sección X $0 < \alpha \leq 0,5$	-	q	q
	$\alpha = 0,5$	$Q = 2,5 K (t)$	q	$K (t/m)$
	$\alpha = 0$		q	q

donde: $K = 10$

$$q = \left(1 + \frac{1,1}{e^{0,04\lambda}} + \frac{4,4}{\lambda^2} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) K$$

$e = 2,718$ base de los logaritmos neperianos

λ longitud cargada, en m, y se determina (véase Fig. 18)

$\alpha = \frac{a}{\lambda}$ situación del vértice de la línea de influencia con respecto a λ (véase Anexo B)

a proyección de la distancia menor desde el vértice hasta el extremo de la línea de influencia, en m.

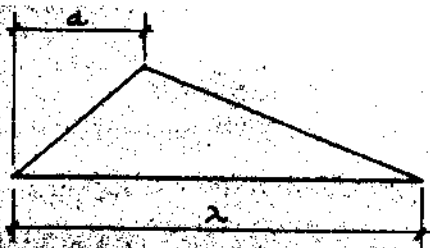


Fig.18

- Reducción de la carga C-10 atendiendo el número de sendas cargadas. Cuando la longitud cargada sea mayor que 25,0 m se aplicará una reducción al valor de la carga C-10 de acuerdo al número de sendas de circulación cargadas, según como se indica en la tabla 17.

Tabla 17

Cantidad de sendas de circulación cargadas	2	3
Coefficiente de uso ψ	0,9	0,8

El número de vías ferroviarias mayor de 3 no se cargan simultáneamente.

- 17.1.2.1 La carga vertical del equipo rodante vacío es de 1,0 tf/m de la vía.
- 17.1.2.2 Cuando la línea de influencia de contorno triangular tiene variaciones de signo, se calculará la carga "q" en función del valor de λ correspondiente a la suma de los tramos de igual signo, cargándose los de signo contrario con una carga equivalente de 1 tf/m perteneciente a un conjunto de vagones vacíos y teniendo en cuenta el valor de α que corresponde al tramo donde se requiere el esfuerzo.

$$\lambda = \sum l_i$$

donde:

l_i longitudes cargadas de igual signo.

$$\alpha = \frac{a}{\sum l_i}$$

- 17.1.2.3 Para el proyecto de los elementos de tableros con balasto, la distribución de la presión local que se transmite a través del balasto a la losa y también para determinar los esfuerzos para el cálculo de la losa en sentido transversal y longitudinal, se tomará q igual a 20 tf/m de vía. (Véase Fig. 19).

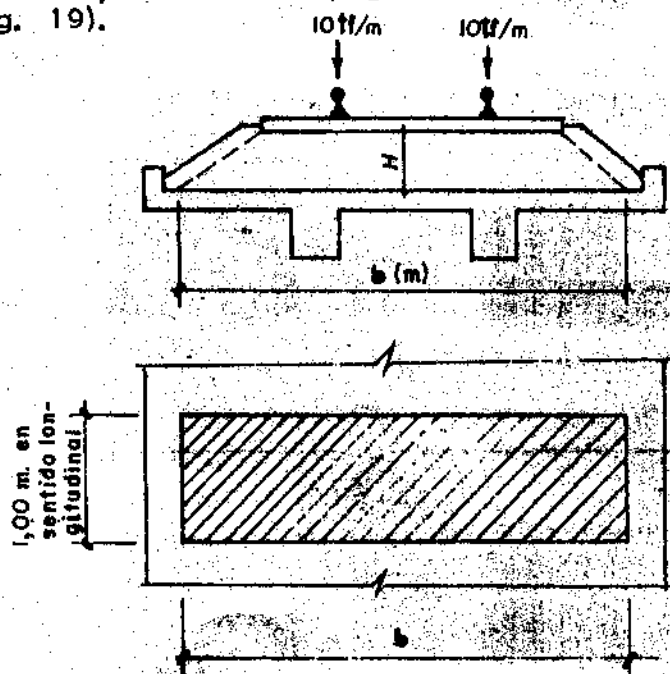


Fig. 19

- 17.1.2.4 El valor de la carga, en tf/m^2 , para el cálculo de la losa que soporta el balasto, se adopta igual a q/b , donde b es la anchura de distribución de la carga, en m, que aporta el mayor esfuerzo entre las expresiones correspondientes de b y la anchura de la losa, pero nunca mayor que esta anchura.
- b longitud de traviesa + H (cuando el derrame de balasto es a un extremo de las traviesas)
 - b longitud de traviesa + 2 H (cuando el derrame de balasto es a los dos extremos de las traviesas)
 - H distancia de la cara inferior de la traviesa a la cara superior de la losa.
 - q carga equivalente uniformemente distribuida (véase Anexo A y B).
- 17.1.2.5 Las líneas de influencia de formas no triangulares, se cargarán utilizando cualquier método conocido para determinar sus áreas.
- 17.1.2.6 Cuando se analiza una sección sometida a varias solicitaciones (carga axial, momento flector y cortante), se determinará primeramente la carga equivalente en función de la línea de influencia correspondiente para producir el valor máximo de la solicitación analizada. Posteriormente, con la misma carga equivalente hallada y la misma longitud cargada, deberán calcularse las otras solicitaciones en esta sección. Se diseñará con la combinación de solicitaciones así calculadas, prohibiéndose la combinación de solicitaciones máximas, correspondientes a cargas equivalentes diferentes.
- 17.1.2.7 Al cargar conjuntamente la luz, los apoyos y la cuña de falla, el peso de las cargas que se encuentra en las mismas, se considera conforme a lo que se establece en la tabla 18.
- La longitud cargada en la cuña de falla, se recomienda se tome igual a la mitad de la altura desde el pie de las traviesas hasta la sección considerada del apoyo
 - Para el cálculo de los estribos de los puentes de viga isostáticas, la carga se aplica con el uso de la tabla 18
 - No obstante, en los casos en que exista la posibilidad de una combinación de cargas más desfavorables no incluidas en este apartado, el proyectista la utilizará en el diseño.

Tabla -18 Cargas para el cálculo de estribos

Longitud total de la luz, el estribo (por arriba) y prisma de deslizamiento	Carga o su peso en tf/m		
	En la luz	En el estribo	En el prisma de deslizamiento
$\lambda \leq 1,5$	-	-	2,5 K (t)
$\lambda > 1,5$	q	0	q

17.1.2.8 Al cargar superestructuras situadas en las curvas, el valor de la carga "q", se acepta con el coeficiente que refleja la influencia del desplazamiento del eje de la vía y es igual a $1 \pm 2 c/a$; el cálculo en este caso se realiza de la forma siguiente:

- Contando con la fuerza centrífuga y el coeficiente dinámico para la carga móvil vertical, pero sin considerar los factores de fuerza que surgen como consecuencia de la superelevación del carril exterior.
- Sin contar con la fuerza centrífuga ni el coeficiente dinámico, pero considerando los factores de fuerza que surgen debido a la superelevación del carril exterior.

En la fórmula, "a" es la distancia entre cerchas (vigas) y "c" el desplazamiento del eje de la vía con respecto al eje de la superestructura.

Nota. El coeficiente $1 \pm 2 c/a$ por el que se ha de multiplicar la carga "q", surge por la excentricidad $\underline{e}$ entre el eje de la vía y el eje de la superestructura; si el tablero se apoya sobre dos vigas, la viga exterior soporta una carga incrementable en $1 + 2 c/a$, mientras en la viga interior la carga actuante se afecta por el coeficiente $1-2 c/a$.

17.1.3 Coefficiente dinámico o de impacto (C_D)

17.1.3.1 El coeficiente dinámico o de impacto de las cargas de ferrocarril, autopistas, carreteras y vías urbanas, no será nunca menor que la unidad y se adoptará de acuerdo a:

- Para todos los elementos de acero de la superestructura, incluyendo aquellos de estructuras mixtas de hormigón y acero, así como en los cabezales y pórticos de columnas, incluidos sus arriostramientos.

En los puentes de ferrocarril de tablero superior o inferior:

$$C_D = 1 + \frac{18}{30 + \lambda} > 1,2$$

En los puentes de autopistas, carreteras y urbanos:

$$C_D = 1 + \frac{15}{37 + \lambda}$$

- b) Para los elementos de hormigón armado y pretensado de las superestructuras de puentes de losas, vigas, pórticos, incluyendo además los tímpanos de arcos aligerados y para las subestructuras (cabezales y columnas):

- En los puentes de ferrocarril con la vía apoyada sobre una capa de balasto de 0,25 m (que es el mínimo), medida desde el asiento de la traviesa:

$$C_D = 1 + \frac{10}{20 + \lambda} > 1,15$$

- Cuando el espesor del balasto y el relleno incluido, tenga un valor intermedio entre 0,25 y 1,00 se interpolará entre el obtenido por la fórmula anterior y la unidad
- En los puentes de autopistas, carreteras y vías urbanas a rasante:

$$C_D = 1,3 - 0,0075 (\lambda - 5) \leq 1,3$$

- c) Para las superestructuras de arcos y bóvedas de hormigón armado con tímpanos aligerados:

- En puentes de ferrocarril:

$$C_D = 1 + \frac{15}{100 + \lambda} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{f} \cdot l\right)$$

donde:

f es la fecha del arco, y l su luz y λ según 17.1.3.2

- En las autopistas, carreteras y vías urbanas:

$$C_D = 1,2 - 0,004 (\lambda - 20) \leq 1,2$$

- d) No se tomará en consideración el coeficiente dinámico o de impacto (C_D) en los casos siguientes:

- En las superestructuras de arcos de hormigón armado, de hormigón en masa o de mampostería, con tímpanos rellenos

- En los apoyos de hormigón en masa
 - En el análisis y diseño de cimentaciones
 - En puentes y alcantarillas de ferrocarril, cuando el espesor del balasto, incluido el relleno, sea igual o mayor de 1,00 m
 - En puentes y alcantarillas de autopistas, carreteras y vías urbanas, cuando el espesor del relleno, incluido el pavimento, sea igual o mayor de 0,50 m
 - En la carga especial accidental móvil NK-80
 - En la acción del empuje de tierra producido por las cargas accidentales móviles.
- e) En los puentes mixtos de ferrocarril y carreteras, se tomará cada carga accidental vertical afectada por su correspondiente coeficiente dinámico.

17.1.3.2 En las fórmulas mencionadas anteriormente, el valor de λ se determinará de la forma siguiente:

- a) Para los elementos principales de las armaduras (vigas, arcos, pórticos) el valor de λ será igual a la suma de las longitudes principales de igual signo de la línea de influencia, pero nunca menor que la luz de cálculo
- b) Para los elementos secundarios del tablero, así como para los que trabajen solamente a la carga local y para los elementos de los apoyos (pilas y estribos), se tomará igual a la longitud de la línea de influencia del esfuerzo correspondiente, pero no menor de 3 m, que se determina como suma de longitudes de las partes que se cargan de igual signo.
- c) Para el cálculo de las losas del tablero en la dirección transversal al eje de la vía, se tomará el valor del coeficiente dinámico o de impacto, como sigue:

- En ferrocarril

$$C_D = 1,5$$

- En carreteras

$$C_D = 1,3$$

17.2 Acción del empuje de tierra debido a la carga accidental móvil

17.2.1 La presión del suelo en los estribos, debido a cargas verticales accidentales que se encuentran en la cuña de falla, se determinará de la siguiente forma:

17.2.1.1 Debido al material rodante sobre vías férreas. La presión horizontal se determinará según el caso, por las fórmulas:

- a) Para estribos de vía única con carga simétrica (respecto al eje del estribo), véase Fig. 20.

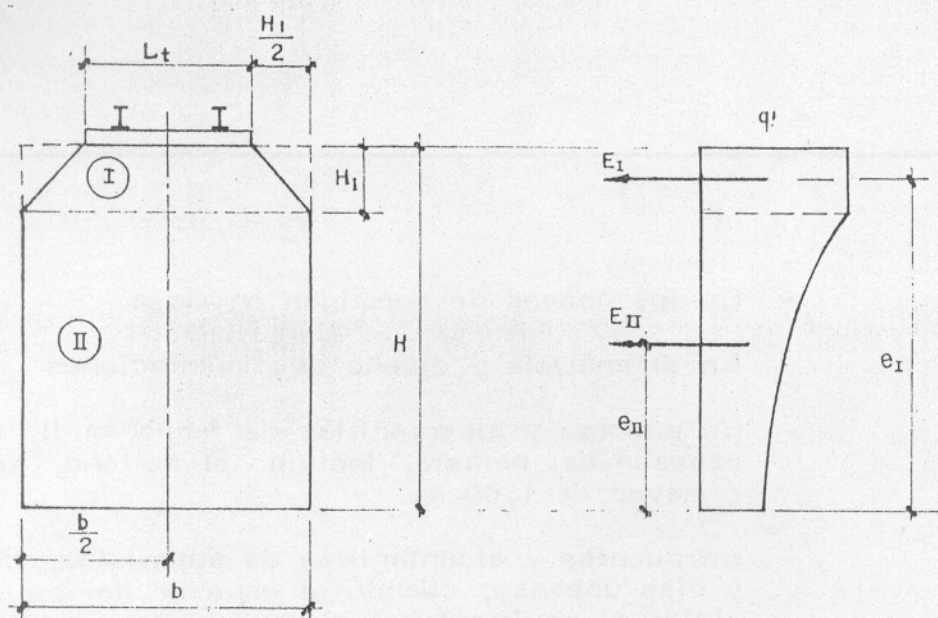


Fig. 20

$$E_I = L_t q' k_a H_1$$

$$e_I = H - \frac{H_1}{2}$$

$$E_{II} = q' k_a b (\alpha H - \alpha_1 H_1) e_{II} = \frac{H^2 \alpha \varepsilon - H_1 \alpha_1 (H_1 \varepsilon + H - H_1)}{H \alpha - H_1 \alpha_1}$$

$$E = E_I + E_{II} \quad (1)$$

donde:

L_t longitud de traviesa (2,70 m)

$q' = \frac{q}{L_t}$ donde q = carga uniformemente distribuida equivalente en tf/m^2 y se tomará del Anexo B de cargas equivalentes, para

$$\lambda = \frac{H}{2} \text{ y } \alpha = 0$$

H altura del estribo (m)

H_1 altura dentro de cuyos límites el área de las presiones tienen una anchura variable (m)

b anchura del estribo de vía única m

α , α_1 y ε coeficientes que dependen de H y H_1 (Véase Anexo C)

b) Para estribos de vías múltiples con carga asimétrica (respecto al eje del estribo), véase Fig. 21.

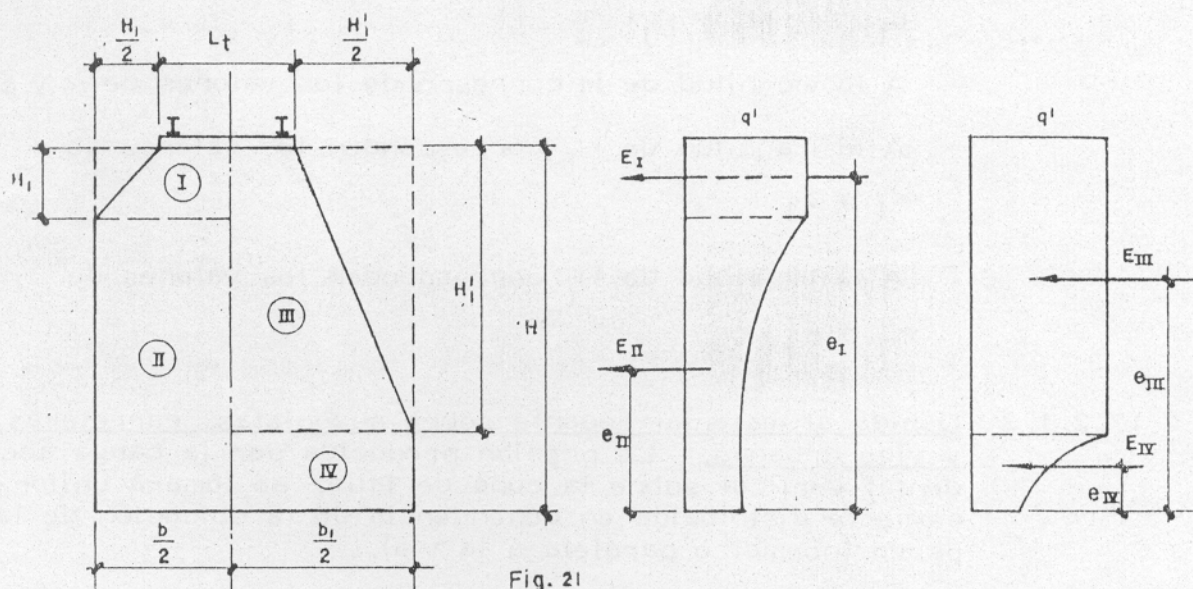


Fig. 21

$$\begin{aligned}
 E_I &= 0,5 L_t q' k_a H_1 & e_I &= H - \frac{H_1}{2} \\
 E_{II} &= 0,5 q' k_a b (\alpha H - \alpha_1 H_1) & e_{II} &= \frac{H^2 \alpha \xi - H_1 \alpha_1 (H_1 \xi_1 + H - H_1)}{H \alpha - H_1 \alpha_1} \\
 E_{III} &= 0,5 L_t q' k_a H_1 \\
 E_{IV} &= 0,5 q' k_a b_1 (\alpha H - \alpha_1' H_1) & e_{III} &= H - \frac{H_1}{2} \\
 e_{IV} &= \frac{H^2 \alpha \xi - H_1' \alpha_1' (H_1' \xi_1' + H - H_1')}{H \alpha - H_1' \alpha_1'}
 \end{aligned}$$

$$E = E_I + E_{II} + E_{III} + E_{IV} \quad (2)$$

donde:

L_t ; q' ; k_a ; H ; H_1 ; α , α_1 y ξ han sido definidos anteriormente

H_1' altura dentro de cuyos límites el área de las presiones tiene un ancho variable, (m)

b doble de la menor distancia desde el eje vertical de las cargas hasta la cara lateral inmediata del estribo cuando se carga asimétricamente m.

$b_1 = 0,5 L_t + \frac{H_1}{2}$ El valor obtenido no deberá ser menor del doble de la distancia máxima desde el eje vertical de las cargas hasta la cara lateral de los estribos cuando se carga asimétricamente. en m.

Los valores de los coeficientes α ; α_1 ; α_1' y ϵ ; ϵ_1 ; ϵ_1' que se dan en el Anexo C, son funciones respectivas de H , H_1 y H_1'

- Si en los estribos se han colocado múltiples vías, entonces la presión total en ellos, debido a cargas accidentales, se determina como una suma de presiones, obtenidas por la fórmula (2) para cada una de las vías por separado con los valores correspondientes de b ; b_1 ; H ; H_1 y H_1'
- A la magnitud de H corresponde los valores de α y ϵ
- A la magnitud de H_1 corresponden los valores de α_1 y ϵ_1
- A la magnitud de H_1' corresponden los valores de α_1' y ϵ_1'

17.2.1.2 Debido al material rodante sobre autopistas, carreteras y vías urbanas. La presión producida por la carga accidental vertical sobre la cuña de falla, se tomará uniformemente distribuida en dependencia de la ubicación de la pared (normal o paralela a la vía).

- a) Cuando la pared a calcular se encuentra normal al sentido del movimiento, la presión de cada eje correspondiente a los vehículos de las cargas N-30 y NK-80 se distribuirá en un área igual a $S \cdot b$

donde:

S distancia entre las caras externas de las ruedas de los vehículos extremos, medido en sentido transversal al movimiento (m)

- b) longitud de contacto de la rueda del vehículo N-30 o la longitud de la cuña de falla para el cálculo con la carga NK-80, pero no mayor que 3,60 m, teniendo en cuenta en todos los casos la distribución a 45° a través de la capa de rodadura.

Si la presión producida por el tren de carga se distribuyera paralelamente a la pared a calcular, la presión se tomará afectada por el coeficiente $\alpha = f(S/H)$, en la tabla del Anexo C.

En los estribos con muros de retorno o aletones paralelos al eje del puente, el coeficiente α no se utilizará.

Si se emplea la solución de losa de acceso, el área de presiones será igual a la anchura de la faja de contacto de la losa de acceso con el suelo y la presión se tomará en el centro de la superficie de apoyo de la losa.

- b) Cuando la pared a calcular se encuentre paralela al sentido del movimiento, la presión se distribuirá en un área igual a a.d,

donde:

- a altura de la pared y se tomará no mayor que 4,0 m para la carga N-30 ó 3,6 m para la carga NK-80, pero no mayor que la longitud del tramo que se diseña
- d anchura de la huella de vehículos N-30 y del NK-80, teniendo en cuenta en todos los casos la distribución a 45° a través de la capa de rodadura.

17.2.1.2.1 La presión de cálculo en estribos abiertos se distribuirá en una anchura de faja de acuerdo a como se prescribe en el apartado 16.3 de la presente norma.

17.2.1.3 La presión característica del suelo sobre las alcantarillas debido a la carga accidental móvil expresada en tf/m^2 , se determinará de acuerdo a las fórmulas siguientes:

- a) Presión vertical

- De la carga C-10 para vías férreas:

$$q = \frac{2 H}{L_f + H}$$

donde:

K=10

L_f longitud de la traviesa (m)

H altura de relleno medida desde la base del riel hasta el nivel superior de la alcantarilla, (m)

- De la carga NK-80 para autopistas, carreteras y vías urbanas:

Para $H < 1,0$ m

$$q = \frac{19}{H + 3}$$

Para $H < 1,0$ m, será necesario analizar la presión real sobre la alcantarilla debido a las ruedas de esta carga, teniendo en cuenta, su distribución, por el pavimento y el terraplén.

donde:

H altura de relleno medida desde la superficie de la calzada hasta el nivel superior de la alcantarilla m.

b) Presión horizontal

$$e_q = k_a q$$

donde:

$$k_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_H}{2} \right)$$

ϕ_H ángulo de fricción interna característica.

17.3 Acción horizontal transversal de la fuerza centrífuga (FC)

- 17.3.1 Para los puentes de ferrocarril en curvas de radio inferior a los 2000 m, aplicada a una altura de 2,00 m del tope de la cabeza del riel y para cada vez, se determinará por la fórmula:

$$FC = \frac{q V^2}{127 R}$$

donde:

R radio de la curva m

q carga accidental característica vertical y uniforme, correspondiente a la línea de influencia cargada con la carga horizontal considerada, (tf/m)

V velocidad máxima de diseño (km/h)

No obstante deberá comprobarse el efecto de mayoración sobre el carril interior, en obras situadas en el origen de curvas de transición y obras en curva con valores de velocidades inferiores a la de diseño o sobre cargas estáticas, por la fórmula:

$$K = 1 + 1,6 d$$

donde:

d peralte real de la vía (cm), pero no mayor de 15 cm.

- 17.3.2 Para los puentes de carreteras y urbanos en curvas de radio inferior a 600 m, aplicada al nivel de la rasante, para cada senda de tránsito, se determinará por la fórmula:

$$FC \leq 0,15 q$$

- 17.4 Acción debida a los impactos horizontales transversales de la carga móvil. Para la carga C-10 se tomará como una carga uniformemente distribuida igual a:

$$S = 0,06 K \left[\text{tf/m} \right]$$

donde:

$K = 10$; S se aplicará a nivel de la superficie superior del riel.

17.5 Acción horizontal y longitudinal del frenado y arranque

- 17.5.1 Para los puentes de ferrocarril, se considera en forma de una carga uniforme distribuida aplicada a la altura de 2,0 m del tope de la cabeza del riel y dirigida en cualquiera de los sentidos de la dirección de la vía.

El valor de dicha carga se considerará igual al 10% del peso de la carga característica accidental vertical P , en tf, actuante de acuerdo a que:

Si $\lambda < 1,5$ m; $P = 25$ tf y si con $\lambda \geq 1,5$ m, entonces $P = q\lambda$ donde q , por razones prácticas, corresponde a valores de $\alpha = 0$

Para determinar la acción del frenado sobre los puentes de subestructura flexibles de hormigón armado o acero, así como caballetes, se considerará $q = 10$.

En el caso de puentes continuos se considerará la carga P en la pila fija, como la carga vertical total de acuerdo al valor de α que corresponda a las luces adyacentes a la misma.

La carga de frenado o arranque que se considerará es:

- En los puentes con dos vías, la de una sola vía
- En los puentes con tres o más vías, se toma sólo en dos vías.

- 17.5.2 Para los puentes de autopistas, carreteras y vías urbanas, se aplicará en cada una de las sendas reales de circulación que tenga igual sentido y se considerará en forma de una carga concentrada aplicada a nivel de la rasante y cuyo valor será igual a:

$$0,3 P \text{ para } \lambda \leq 25,0 \text{ m}$$

$$0,6 P \text{ para } 25,0 < \lambda \leq 50,0 \text{ m}$$

$$0,9 P \text{ para } \lambda > 50,0 \text{ m}$$

donde:

$$P = 30 \text{ tf}$$

λ longitud de aplicación de la carga para el tránsito de muchas sendas en un sentido; las cargas de frenado y arranque se aplicarán a todas las sendas.

- Las fuerzas de frenado o arranque actuante en el terraplén de acceso, no se consideran en el diseño del tablero o del estribo
- Las fuerzas de frenado o arranque se distribuye alícuotamente a los aparatos de apoyo fijo, tanto longitudinal como transversalmente (en el caso de los puentes en esviaje).

El por ciento de distribución de la fuerza de frenado o arranque, determinado de acuerdo al esquema del cálculo no deberá ser mayor que los valores correspondientes de la tabla 19 del apartado 18.4

17.6 Carga característica accidental vertical de las aceras y pasarelas

- Para aceras de puentes y pasarelas: 400 kgf/m^2
- Para aceras de puentes ferroviarios con la vía sobre balasto: 1000 kgf/m^2
- Para aceras de servicio de los puentes ferroviarios, o sea, aceras no utilizables por el público sino sólo para trabajos de la obra, las cargas indicadas se considerarán solamente cuando actúan las cargas permanentes, o sea, sin la carga accidental del equipo rodante y además sólo para el diseño de la acera, pero no se considerará en los cálculos de los restantes elementos de la estructura.
- Las cargas características en las aceras de puentes de carreteras y vías urbanas, no se consideran simultáneamente con la carga característica NK-80.

17.6.1 Las cargas concentradas de diseño que se considerarán al faltar otras cargas son:

- a) Carga vertical para la acera, colocada en la posición más desfavorable: 200 kgf
- b) Carga vertical y horizontal aplicadas en su posición más desfavorable, para el diseño de los pretilles: 150 kgf (cuando exista acera o contén)
- c) Carga horizontal de $15,0 \text{ tf}$ para el diseño de la columna de los pretilles, aplicada a una altura máxima de $0,55 \text{ m}$ en la dirección más desfavorable, para los puentes de carretera sin acera ni contén

Para las barandas del pretil utilizar las cargas del inciso (b), con una distancia máxima entre centros de columnas de $1,40 \text{ m}$.

17.7 Carga característica accidental horizontal en las aceras

- Para la carga N-30 se tomará como una carga uniformemente distribuida igual a:

$$S = 0,4 \text{ t/m}$$

Para la carga NK-80 se tomará con una fuerza concentrada igual a:

$$F = 5 \text{ t}$$

Estas cargas son independientes del número de sendas y se aplicarán a la rasante o al contén.

18. Otras cargas y acciones

18.1 Carga de viento

18.1.1 Carga característica horizontal transversal de viento

- a) En ausencia de la carga vertical móvil, sobre los puentes y pasarelas se adoptará como presión base lo que se establece en la NC 53-41:83 "Elaboración de proyectos de construcción. Carga de viento. Método de cálculo", con sus coeficientes correspondientes.
- b) Con la presencia sobre el puente de la carga accidental vertical móvil, se adoptará valores particulares de comprobación:

En puentes de vías férreas:

$$q_{10} = 100 \text{ kgf/m}^2$$

- c) Para las combinaciones particulares de las cargas durante el proceso constructivo:

$$q_{10} = 50 \text{ kgf/m}^2$$

- d) El área de cálculo expuesta al viento y los coeficientes a emplear, se asumirán de acuerdo a lo establecido en la NC 53-41

- e) La presión de viento actuante sobre la carga accidental vertical móvil se considerará:

Para el equipo rodante ferroviario, en forma de una faja llena de 3,00 m de altura, con el centro de presión a la altura de 2,00 m desde la cabeza del riel

- f) La distribución de la carga de viento a lo largo de la luz, se puede aceptar como uniforme.

18.1.2 Carga característica horizontal longitudinal de viento sobre superestructuras de celosías. Se considera un 60% de la carga característica transversal de viento que actúa sobre las armaduras principales.

La carga horizontal longitudinal de viento sobre la subestructura, por encima de la superficie del terreno o del nivel

normal de las aguas, se adoptará de la misma intensidad por m^2 de la superficie expuesta que para la carga transversal de viento.

Se asumirá que la carga horizontal longitudinal de viento que actúa sobre la superestructura, se transmite a los apoyos de la misma manera que el esfuerzo horizontal longitudinal del frenado o arranque (véase apartado 17.5).

La carga horizontal longitudinal de viento sobre las superestructuras de alma llena, el tablero y el equipo rodante, no se considera.

- 18.1.3 Carga característica vertical de viento. Se adoptará como una fuerza hacia arriba que tiende a volcar la estructura, aplicada en el punto cuarto del tablero del puente, del lado del ataque del viento (barlovento).

La magnitud de esta fuerza se calculará suponiendo una presión característica uniforme distribuida de 100 kgf/m^2 de área del tablero.

- 18.2 Carga sísmica. Las cargas sísmicas se calcularán de acuerdo con la NC 53-114:84 "Elaboración de proyectos de construcción. Construcciones sísmo-resistentes. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo".

- 18.3 Acción por la variación de la temperatura. Esta acción se considerará en el cálculo de puentes de estructuras hiperestáticas en hormigón en masa, hormigón armado, hormigón pretensado, mampostería, estructuras metálicas y mixtas dependiendo del método constructivo.

Los coeficientes de dilatación térmica se adoptarán de acuerdo a los siguientes valores:

Acero	$1 \times 10^{-5} \text{ m/}^\circ\text{C}$
Aluminio	$2 \times 10^{-5} \text{ ''}$
Hormigón	$1 \times 10^{-5} \text{ ''}$
Mampostería	$0,5 \times 10^{-5} \text{ ''}$

Las variaciones características de la temperatura que se adoptará será de $\pm 10^\circ\text{C}$.

La temperatura recomendada para el momento de la colocación de las claves en los arcos, así como para el enlace entre partes de estructuras hiperestáticas, es entre 20° y 25°C .

En los apoyos de hormigón fundido "in situ", y en las estructuras huecas, de hormigón armado, rellenados posteriormente de hormigón en masa, deberá considerarse la distribución no uniforme de las temperaturas en el macizo.

- 18.4 Acción por la fricción de los aparatos de apoyo. La acción característica debida a la fricción en los aparatos de apoyo, fijos y móviles, de las superestructuras, se consideran como

una fuerza horizontal longitudinal o transversal que se transmite a la subestructura y que se expresa por la fórmula:

$$F = f \cdot N$$

donde:

- F fuerza de fricción horizontal longitudinal, o transversal o ambas, (kgf)
- N reacción en el apoyo proveniente de los valores característicos de las cargas permanentes y accidentales en el sentido longitudinal, sin considerar en estas últimas el coeficiente de impacto o eventualmente de las acciones de la fuerza centrífuga en el sentido transversal y del viento o sismos en ambos sentidos, (kgf)
- f coeficiente de fricción a considerar en los aparatos de apoyo, de acuerdo con los valores recomendados en la tabla 19.

La acción característica de la fricción deberá considerarse en el cálculo de los aparatos de apoyo, elementos de las subestructuras en contacto con los mismos y en el cálculo de los apoyos de hormigón en masa o armado, descansado sobre una base rocosa.

A título de información, se recomienda utilizar la tabla 20, para en función de la rotación y desplazamiento previsto del elemento, seleccionar el aparato de apoyo más idóneo para el caso dado.

Tabla 19 Valores del coeficiente de fricción (f)

Material	Tipo de apoyo							
	Fijo		Móvil					
	Pasa-dor	Plan-chas	Plan-chas	Cilind-ro	Disco	Balan-cín	Pénd-ulo	Rodil-lo
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acero	1,00	0,30	0,15	0,05	0,15	0,15	0,15	0,10
Acero máquina-do y lub-ricado	1,00	-	0,10	0,05	0,10	0,10	0,10	0,05
Plomo	1,00	0,50	-	-	-	-	-	-
Hormi-gón	1,00	0,70	-	-	-	0,50	0,50	-

Tabla 19 (conclusión)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elastó- meros	1,00	0,20 a 0,25	0,0015	-	0,0015	-	-	-
Teflón	1,00	-	0,0001	-	0,0001	-	-	0,02

Notas:

- 1) En péndulos y balancines, el coeficiente de fricción se considerará al analizar el deslizamiento del aparato de apoyo, pero no se tendrá en cuenta ninguna transmisión de fuerzas a la subestructura
- 2) El diseño de los apoyos contruidos por elastómeros o teflón, deberá realizarse consultando la literatura especializada.

Tabla 20

Rotación o Radianes	Tipos de apoyo			
	$\Delta = 0$	$0 < \Delta < 15$	$15 < \Delta < 200$	$\Delta > 200$
	Fijos	Móviles		
Débiles $0 < \theta < 0,015$	Pasador Planchas de acero y plomo	Planchas de acero ma- quinadas Elastómeros	Elastómeros Armado	Teflón
Medias $0,015 < \theta < 0,035$	Superficies Cilíndricas	Elastómeros Balancín	Elastómeros Armados Péndulo	Teflón Rodillos
Grandes $0,035 < \theta < 0,70$	Cilindro fijo Disco fijo	Cilindro Disco	Disco Rodillos	Diseños Especia- les

Nota.

Δ deformación longitudinal o transversal, (mm)

13.5 Cargas de construcción

- Se consideran cargas de construcción aquellas que actúan sobre las estructuras o en los accesos (aproxches), durante el montaje o construcción "in situ" (desmolde del elemento del plan, peso de andamios, grúas, empujes y otros) y también durante el transporte y fabricación del elemento, y se adoptan según los datos del proyecto, contando con las condiciones previstas de la ejecución del trabajo, el peso máximo posible del equipo y el peso del personal.

El peso propio de los elementos suspendidos debe efectuarse con el coeficiente dinámico igual a:

- Por grúas para pesos menores o iguales a 20 tf	1,25	0,85
- Por grúas para pesos mayores que 20 tf	1,10	0,95
- Por gatos hidráulicos o mecánicos	1,1	
- En el caso de dovelas prefabricadas	1,5	
- En el desmolde de los elementos del plan	1,3	

La grúa o equipo de montaje, incluyendo el peso del elemento a montar, también deberá afectarse con los coeficientes dinámicos señalados anteriormente.

- 18.6 Presión hidrodinámica. Todas las pilas y otras partes de las estructuras de los puentes sometidos a la presión de la corriente de agua, se calcularán para resistir las tensiones máximas que ella produzca,

La presión total producida por la corriente del agua se calculará por la fórmula siguiente:

$$P = K A V^2$$

donde:

- P presión total en el plano normal a la corriente (kgf/m^2)
A área de la superficie mojada normal a la dirección de la corriente m^2
V velocidad promedio en la profundidad del agua (m/s)
K coeficiente que tiene los siguientes valores: 68 para pilas que tengan los extremos en ángulo recto; 34 para pilas con los extremos circulares y 26 para pilas cuyos extremos tenga planos que formen un ángulo de 30° o menor.

La presión total estará aplicada por debajo del nivel máximo del agua a una distancia igual a un cuarto de la profundidad del agua, que se mide desde el nivel de máximo creciente, hasta la superficie del cauce de la corriente donde la socavación sea nula.

En el caso en que el área A no sea normal a la corriente, el valor de P se multiplicará por $\text{sen}^2 \theta$ para el lado o longitud de la pila, y por $\text{sen}^2 (90^\circ - \theta)$ para el extremo de la pila; siendo θ el ángulo que forma el eje longitudinal de la pila con la dirección de la corriente. Si la pila estuviera formada por varias columnas o pilotes se seguirá un criterio análogo.

COMPLEMENTO

Normas estatales de referencia:

- NC 53-41:83 Elaboración de proyectos de construcción. Carga de viento. Método de cálculo
- NC 53-39:78 Cálculo y ejecución de obras de hormigón
- NC 53-02:78 Carreteras. Diseño geométrico. Parámetros fundamentales y secciones típicas
- NC 53-114:84 Elaboración de proyectos de construcción. Construcciones sismo-resistentes. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo

Norma extranjera consultada:

- URSS SN-200-62 Condiciones técnicas para proyecto de puentes y alcantarillas en vías férreas, carreteras y vías urbanas.

Bibliografía consultada:

- Evgrafov GK y Lialin N. B. Cálculo de puentes por el método de los estados límites. URSS
- Iakobsona K. K. Cálculos de puentes de hormigón. URSS.
- Kazinitkaria B. I. Elaboración de la nueva carga normativa de ferrocarriles para proyección de puentes. URSS
- Evgrafov G. K. y Bogdanov N. N. Proyección de puentes. URSS
- N. Nissinov. H. Cálculo de construcciones de hormigón armado por el método de los estados límites. URSS.

ANEXO A

CARGAS EQUIVALENTES EN tf/m PARA LOS VEHICULOS N-30
Y NK-80. LINEAS DE INFLUENCIA TRIANGULARES.

Longitud cargada en metros	POSICION DEL VERTICE DE LA LINEA DE INFLUENCIA					
	En el centro de la luz		En el cuarto de la luz		En el extremo de la luz	
2	N-30	NK-80	N-30	NK-80	N-30	NK-80
4	7, 20	18, 00	8, 80	18, 00	9, 60	22, 00
5	6, 53	16, 64	7, 55	16, 64	8, 06	20, 50
6	5, 87	16, 00	6, 58	16, 00	6, 93	18, 67
7	5, 29	15, 02	5, 81	15, 02	6, 07	16, 97
8	4, 80	14, 00	5, 20	14, 00	5, 47	15, 50
9	4, 39	13, 40	4, 70	13, 30	5, 07	14, 22
10	4, 09	12, 15	4, 29	12, 15	4, 70	13, 12
11	3, 73	11, 37	4, 03	11, 37	4, 38	12, 15
12	3, 47	10, 67	3, 80	10, 67	4, 10	11, 33
13	3, 31	10, 03	3, 59	10, 03	3, 85	10, 60
14	3, 16	9, 47	3, 40	9, 47	3, 62	9, 95
15	3, 02	8, 96	3, 23	8, 96	3, 42	9, 38
16	2, 89	8, 50	3, 08	8, 50	3, 24	8, 67
17	2, 66	-	2, 80	-	2, 96	-
18	-	7, 78	-	7, 78	-	8, 00
20	2, 49	7, 04	2, 57	7, 04	2, 87	7, 28
22	2, 27	6, 48	2, 37	6, 48	2, 82	6, 67
24	2, 13	6, 00	2, 22	6, 00	2, 75	6, 17
26	2, 03	5, 58	2, 16	5, 58	2, 67	5, 73
28	1, 93	5, 22	2, 13	5, 22	2, 60	5, 33
30	1, 84	4, 91	2, 09	4, 91	2, 54	5, 01
32	1, 76	4, 62	2, 06	4, 62	2, 46	4, 71
36	1, 76	4, 15	1, 98	4, 15	2, 37	4, 22

ANEXO A (concl.)

1	2	3	4	5	6	7
40	1,76	3,76	1,90	3,76	2,29	3,82
50	1,76	3,05	1,79	3,05	2,17	3,08
60	1,76	2,56	1,75	2,56	2,08	2,59
70	1,74	2,21	1,74	2,21	2,02	2,22
80	1,74	1,94	1,74	1,94	2,00	1,95
90	1,74	-	1,74	-	1,97	-
100	1,72	-	1,74	-	1,93	-
120	1,72	-	1,72	-	1,90	-
140	1,70	-	1,71	-	1,86	-
160	1,70	-	1,71	-	-	-

ANEXO B

CARGAS EQUIVALENTES "q" UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS EN TONELADAS
POR METRO DE VIA PARA LA CARGA C-10

Longitud cargada λ	VALORES DE α (SITUACION DEL VERTICE DE LA LINEA DE INFLUENCIA CON RESPECTO A λ)										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
1,1	47,96	47,86	47,76	47,66	47,56	47,46	47,36	47,26	47,17	47,07	46,96
1,2	45,95	45,75	45,55	45,35	45,16	44,97	44,75	44,55	44,35	44,15	43,95
1,3	43,93	43,63	43,33	43,03	42,73	42,44	42,14	41,84	41,54	41,24	40,94
1,4	41,92	41,52	41,12	40,72	40,32	39,93	39,53	39,13	38,73	38,33	37,93
1,5	39,91	39,41	38,91	38,41	37,91	37,41	36,91	36,41	35,91	35,41	34,91
1,6	37,49	37,02	36,56	36,08	35,62	35,15	34,68	34,21	33,74	33,28	32,81
1,7	35,49	35,04	34,60	34,16	33,72	33,27	32,82	32,38	31,94	31,49	31,05
1,8	33,81	33,39	32,97	32,54	32,12	31,69	31,27	30,85	30,02	30,00	29,58
1,9	32,37	31,96	31,56	31,15	30,75	30,35	29,94	29,54	29,13	28,73	28,32
2,0	31,15	30,74	30,36	29,97	29,58	29,19	28,80	28,42	28,02	27,63	27,26
2,1	30,08	29,70	29,33	28,95	28,57	28,20	27,82	27,45	27,07	26,70	26,32
2,2	29,15	28,78	28,42	28,05	27,69	27,32	26,96	26,60	26,23	25,87	25,50
2,3	28,34	27,98	27,63	27,27	26,92	26,57	26,21	25,86	25,50	25,15	24,80
2,4	27,62	27,27	26,92	26,58	26,24	25,89	25,55	25,20	24,86	24,51	24,17
2,5	26,98	26,65	26,30	25,97	25,63	25,29	24,95	24,61	24,28	23,94	23,60
2,6	26,41	26,08	25,75	25,42	25,09	24,76	24,43	24,10	23,77	23,43	23,10
2,7	25,90	25,58	25,25	24,93	24,60	24,28	23,95	23,63	23,31	22,98	22,66
2,8	25,44	25,12	24,80	24,49	24,17	23,85	23,53	23,22	22,90	22,58	22,26
2,9	25,02	24,70	24,39	24,08	23,77	23,45	23,14	22,83	22,52	22,21	21,89
3,0	24,64	24,33	24,02	23,70	23,40	23,09	22,78	22,48	22,16	21,86	21,56
3,1	24,28	23,98	23,68	23,38	23,07	22,76	22,46	22,16	21,86	21,55	21,25
3,2	23,97	23,67	23,37	23,07	22,77	22,47	22,17	21,87	21,57	21,27	20,97
3,3	23,67	23,38	23,08	22,78	22,48	22,19	21,90	21,60	21,31	21,00	20,71
3,4	23,40	23,11	22,81	22,52	22,23	21,93	21,65	21,36	21,06	20,77	20,48
3,5	23,15	22,86	22,57	22,28	21,99	21,71	21,41	21,12	20,83	20,55	20,26
3,6	22,91	22,63	22,34	22,05	21,76	21,48	21,19	20,91	20,61	20,33	20,04

ANEXO B (cont.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3,7	22,69	22,41	22,13	21,84	21,56	21,28	20,99	20,71	20,42	20,14	19,86
3,8	22,49	22,21	21,93	21,65	21,36	21,08	20,81	20,52	20,24	19,96	19,68
3,9	22,29	22,01	21,73	21,46	21,18	20,90	20,62	20,34	20,06	19,78	19,51
4,0	22,12	21,83	21,56	21,28	21,00	20,73	20,46	20,18	19,90	19,63	19,36
4,1	21,94	21,67	21,39	21,12	20,84	20,57	20,30	20,02	19,75	19,47	19,20
4,2	21,78	21,51	21,24	20,96	20,69	20,42	20,15	19,88	19,60	19,33	19,06
4,3	21,63	21,36	21,09	20,82	20,55	20,28	20,01	19,74	19,47	19,20	18,93
4,4	21,49	21,22	20,96	20,68	20,42	20,15	19,88	19,61	19,34	19,08	18,81
4,5	21,35	21,08	20,81	20,55	20,28	20,02	19,75	19,49	19,22	18,95	18,69
4,6	21,22	20,96	20,96	20,43	20,16	19,89	19,63	19,36	19,10	18,84	18,57
4,7	21,10	20,83	20,57	20,31	20,04	19,78	19,52	19,26	18,99	18,73	18,46
4,8	20,98	20,72	20,46	20,19	19,93	19,67	19,41	19,14	18,89	18,62	18,36
4,9	20,87	20,61	20,35	20,08	19,83	19,56	19,30	19,04	18,78	18,52	18,26
5,0	20,77	20,51	20,24	19,68	19,72	19,46	19,20	18,94	18,69	18,42	18,17
5,2	20,55	20,29	20,03	19,78	19,52	19,26	19,01	18,76	18,50	18,24	17,99
5,4	20,36	20,11	19,86	19,60	19,34	19,09	18,84	18,58	18,32	18,07	17,81
5,6	20,19	19,94	19,68	19,44	19,18	18,92	18,68	18,42	18,17	17,91	17,66
5,8	20,02	19,77	19,52	19,27	19,02	18,77	18,52	18,27	18,02	17,77	17,52
6,0	19,88	19,62	19,37	19,13	18,88	18,63	18,38	18,13	17,89	17,63	17,40
6,2	19,72	19,48	19,23	18,98	18,74	18,49	18,24	17,99	17,75	17,51	17,26
6,4	19,59	19,34	19,09	18,85	18,61	18,36	18,11	17,87	17,63	17,38	17,14
6,6	19,45	19,21	18,96	18,72	18,48	18,24	17,99	17,75	17,51	17,26	17,02
6,8	19,32	19,08	18,84	18,60	18,36	18,11	17,87	17,63	17,39	17,15	16,91
7,0	19,21	18,96	18,72	18,48	18,24	18,00	17,76	17,52	17,28	17,04	16,81
7,2	19,09	18,85	18,61	18,38	18,14	17,89	17,66	17,42	17,18	16,94	16,70
7,4	18,99	18,75	18,51	18,27	18,04	17,79	17,56	17,32	17,09	16,84	16,61
7,6	18,88	18,64	18,41	18,17	17,94	17,69	17,46	17,22	16,99	16,75	16,51
7,8	18,77	18,54	18,30	18,06	17,83	17,59	17,36	17,13	16,89	16,66	16,42
8,0	18,68	18,44	18,21	17,97	17,74	17,51	17,27	17,04	16,80	16,57	16,34

ANEXO B (cont.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8, 5	18, 44	18, 21	17, 97	17, 74	17, 51	17, 28	17, 05	16, 82	16, 59	16, 36	16, 13
9, 0	18, 22	17, 99	17, 76	17, 53	17, 30	17, 08	16, 85	16, 62	16, 39	16, 16	15, 94
9, 5	18, 00	17, 78	17, 55	17, 32	17, 10	16, 88	16, 65	16, 42	16, 20	15, 98	15, 75
10, 0	17, 81	17, 58	17, 36	17, 14	16, 91	16, 69	16, 46	16, 24	16, 02	15, 80	15, 58
10, 5	17, 62	17, 40	17, 18	16, 96	16, 74	16, 52	16, 30	16, 08	15, 87	15, 64	15, 42
11, 0	17, 44	17, 22	17, 00	16, 79	16, 57	16, 35	16, 14	15, 92	15, 70	15, 48	15, 27
11, 5	17, 27	17, 06	16, 84	16, 62	16, 41	16, 19	15, 98	15, 77	15, 54	15, 33	15, 12
12, 0	17, 11	16, 89	16, 67	16, 46	16, 24	16, 04	15, 82	15, 61	15, 39	15, 18	14, 97
12, 5	16, 94	16, 73	16, 52	16, 31	16, 09	15, 88	15, 67	15, 46	15, 24	15, 04	14, 82
13, 0	16, 79	16, 59	16, 37	16, 16	15, 95	15, 74	15, 54	15, 32	15, 12	14, 90	14, 69
13, 5	16, 64	16, 44	16, 23	16, 02	15, 82	15, 61	15, 39	15, 19	14, 98	14, 77	14, 57
14, 0	16, 51	16, 29	16, 09	15, 88	15, 67	15, 47	15, 27	15, 06	14, 85	14, 64	14, 44
14, 5	16, 36	16, 15	15, 95	15, 74	15, 54	15, 34	15, 13	14, 93	14, 72	14, 52	14, 32
15, 0	16, 22	16, 02	15, 82	15, 62	15, 41	15, 21	15, 01	14, 80	14, 60	14, 39	14, 19
15, 5	16, 09	15, 89	15, 69	15, 49	15, 29	15, 09	14, 89	14, 69	14, 48	14, 28	14, 08
16, 0	15, 97	15, 77	15, 57	15, 37	15, 17	14, 97	14, 77	14, 57	14, 37	14, 17	13, 98
16, 5	15, 84	15, 64	15, 44	15, 25	15, 05	14, 85	14, 65	14, 45	14, 26	14, 06	13, 86
17, 0	15, 72	15, 52	15, 33	15, 13	14, 94	14, 74	14, 54	14, 34	14, 14	13, 95	13, 75
17, 5	15, 60	15, 41	15, 21	15, 02	14, 82	14, 62	14, 43	14, 23	14, 04	13, 84	13, 64
18, 0	15, 49	15, 29	15, 10	14, 90	14, 71	14, 52	14, 32	14, 13	13, 93	13, 74	13, 55
18, 5	15, 37	15, 18	14, 99	14, 79	14, 60	14, 41	14, 22	14, 02	13, 83	13, 64	13, 44
19, 0	15, 26	15, 07	14, 88	14, 69	14, 49	14, 31	14, 12	13, 92	13, 73	13, 54	13, 35
19, 5	15, 15	14, 97	14, 77	14, 58	14, 39	14, 21	14, 02	13, 82	13, 64	13, 45	13, 26
20, 0	15, 05	14, 86	14, 67	14, 48	14, 29	14, 11	13, 92	13, 73	13, 54	13, 35	13, 17
21, 0	14, 84	14, 66	14, 47	14, 29	14, 10	13, 92	13, 73	13, 54	13, 36	13, 17	12, 99
22, 0	14, 64	14, 46	14, 28	14, 09	13, 92	13, 73	13, 54	13, 37	13, 18	13, 00	12, 82
23, 0	14, 47	14, 29	14, 10	13, 92	13, 74	13, 57	13, 38	13, 20	13, 02	12, 84	12, 66
24, 0	14, 29	14, 11	13, 93	13, 75	13, 57	13, 39	13, 22	13, 04	12, 86	12, 68	12, 50

ANEXO B (cont.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25,0	14,12	13,94	13,77	13,59	13,41	13,24	13,06	12,88	12,70	12,53	12,36
26,0	13,94	13,77	13,59	13,42	13,24	13,07	12,90	12,72	12,55	12,37	12,20
27,0	13,79	13,62	13,45	13,27	13,10	12,93	12,76	12,59	12,41	12,24	12,07
28,0	13,64	13,47	13,30	13,13	12,96	12,79	12,62	12,45	12,28	12,11	11,94
29,0	13,49	13,32	13,16	12,99	12,82	12,65	12,48	12,32	12,15	11,98	11,81
30,0	13,36	13,19	13,02	12,85	12,69	12,52	12,35	12,19	12,02	11,85	11,69
31,0	13,22	13,06	12,89	12,73	12,57	12,40	12,23	12,07	11,90	11,74	11,57
32,0	13,09	12,93	12,77	12,60	12,44	12,28	12,12	11,95	11,79	11,62	11,46
33,0	12,97	12,81	12,65	12,49	12,32	12,17	12,00	11,84	11,67	11,52	11,35
34,0	12,85	12,69	12,53	12,37	12,21	12,05	11,89	11,72	11,57	11,41	11,25
35,0	12,75	12,59	12,42	12,27	12,11	11,95	11,79	11,63	11,47	11,31	11,16
36,0	12,64	12,48	12,32	12,17	12,00	11,85	11,69	11,53	11,37	11,22	11,06
37,0	12,54	12,38	12,22	12,07	11,91	11,75	11,60	11,44	11,28	11,12	10,97
38,0	12,44	12,28	12,12	11,97	11,82	11,66	11,50	11,35	11,20	11,04	10,88
39,0	12,34	12,18	12,03	11,87	11,72	11,57	11,41	11,26	11,10	10,95	10,80
40,0	12,25	12,10	11,94	11,79	11,63	11,48	11,33	11,17	11,02	10,87	10,72
42,0	12,07	11,92	11,77	11,62	11,47	11,32	11,17	11,02	10,87	10,72	10,57
44,0	11,92	11,77	11,62	11,47	11,32	11,17	11,02	10,87	10,72	10,55	10,42
46,0	11,77	11,62	11,47	11,32	11,18	11,03	10,88	10,74	10,59	10,45	10,30
48,0	11,62	11,48	11,33	11,19	11,05	10,90	10,75	10,61	10,47	10,32	10,17
50,0	11,51	11,36	11,22	11,07	10,93	10,78	10,64	10,50	10,35	10,21	10,07
52,0	11,39	11,25	11,11	10,97	10,83	10,70	10,55	10,41	10,27	10,14	10,00
54,0	11,28	11,15	11,02	10,90	10,77	10,64	10,51	10,38	10,25	10,12	10,00
56,0	11,18	11,06	10,95	10,82	10,71	10,59	10,47	10,35	10,23	10,12	10,00
58,0	11,09	10,98	10,87	10,76	10,65	10,54	10,43	10,32	10,22	10,10	10,00
60,0	11,01	10,90	10,80	10,70	10,60	10,50	10,40	10,30	10,20	10,10	10,00
62,0	10,92	10,83	10,74	10,65	10,55	10,46	10,35	10,27	10,18	10,09	10,00
64,0	10,85	10,77	10,68	10,60	10,51	10,42	10,34	10,25	10,17	10,09	10,00
66,0	10,79	10,71	10,63	10,55	10,47	10,40	10,31	10,23	10,15	10,08	10,00

ANEXO B (concl.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
68,0	10,73	10,66	10,58	10,51	10,44	10,37	10,29	10,22	10,15	10,07	10,00
70,0	10,68	10,62	10,54	10,47	10,40	10,34	10,27	10,20	10,13	10,07	10,00
75,0	10,55	-	10,44	-	10,33	-	10,22	-	10,11	-	10,00
80,0	10,46	-	10,36	-	10,27	-	10,18	-	10,09	-	10,00
85,0	10,37	-	10,30	-	10,22	-	10,15	-	10,07	-	10,00
90,0	10,30	-	10,24	-	10,17	-	10,12	-	10,05	-	10,00
100,0	10,20	-	10,15	-	10,12	-	10,07	-	10,04	-	10,00
110,0	10,14	-	10,11	-	10,08	-	10,05	-	10,02	-	10,00
120,0	10,09	-	10,07	-	10,05	-	10,03	-	10,02	-	10,00
130,0	10,06	-	10,04	-	10,03	-	10,02	-	10,01	-	10,00
140,0	10,04	-	10,03	-	10,02	-	10,01	-	10,00	-	10,00
150,0	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

ANEXO C

VALORES DE COEFICIENTE Y

H; H ₁ ; H ₁	$\alpha_1^* \alpha_1; \alpha_1$	$\varepsilon; \varepsilon_1; \varepsilon_1$	H; H ₁ ; H ₁	$\alpha; \alpha_1; \alpha_1$	$\varepsilon; \varepsilon_1; \varepsilon_1$
1	0,85	0,53	16	0,33	0,65
2	0,75	0,55	17	0,32	0,66
3	0,67	0,56	18	0,31	0,66
4	0,61	0,58	19	0,30	0,66
5	0,57	0,59	20	0,29	0,67
6	0,53	0,60	21	0,28	0,67
7	0,49	0,60	22	0,27	0,67
8	0,46	0,61	23	0,27	0,68
9	0,44	0,62	24	0,26	0,68
10	0,42	0,62	25	0,25	0,68
11	0,40	0,63	26	0,25	0,68
12	0,38	0,64	27	0,24	0,68
13	0,37	0,64	28	0,23	0,69
14	0,35	0,64	29	0,23	0,69
15	0,34	0,65	30	0,22	0,69

COEFICIENTE

S/H	α	S/H	α
0,10	0,327	0,60	0,681
0,12	0,360	0,70	0,710
0,14	0,389	0,80	0,735
0,16	0,414	0,90	0,754
0,18	0,437	1,00	0,722
0,20	0,459	1,20	0,810
0,25	0,505	1,50	0,840

Coeficiente (conclusión)

1	2	3	4
0,30	0,554	2,00	0,875
0,35	0,376	3,00	0,900
0,40	0,602	4,00	0,920
0,50	0,663	Más de 4,00	1,000

Donde H es la altura de los muros