

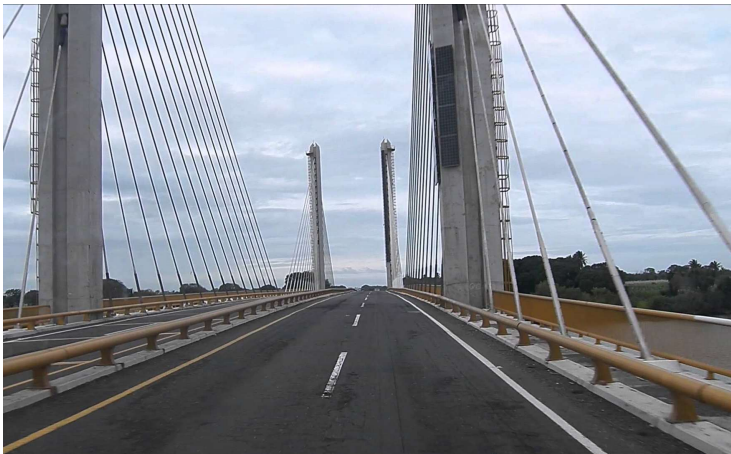


PUENTES CARRETEROS – ACCIONES
Universidad de la República – Curso: 2024

Acciones

Cargas permanentes

Consiste en el peso de los elementos estructurales y los pesos de los elementos funcionales (aceras, barandas o barreras, previsión para tuberías, carpeta de rodadura, etc.).



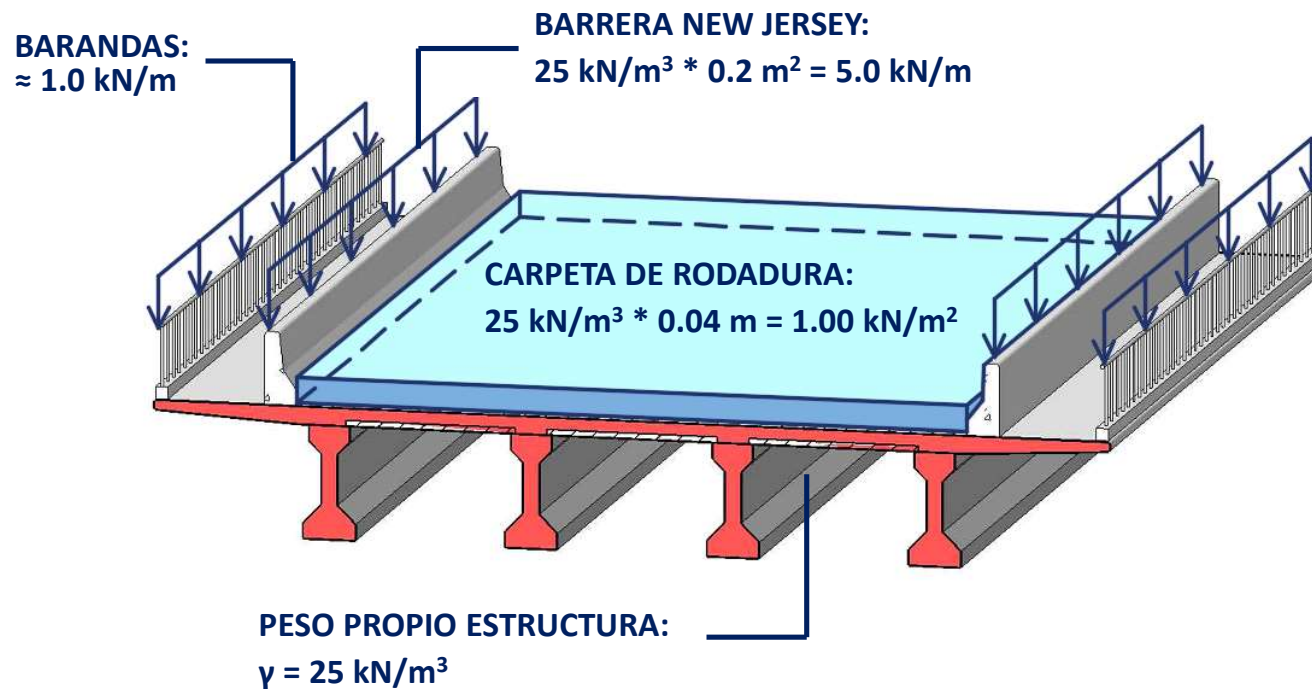
Acciones

Cargas permanentes

Material	γ (kN/m ³)
Fundición	72.5
Acero	78.5
Madera seca	6 a 9
Madera húmeda	10
Hormigón en masa	23 a 24
Hormigón armado y pretensado	25
Aluminio	27
Materiales granulares y de relleno	20
Pavimentos de mezcla bituminosa	23
Elementos de basalto, granito o caliza	30 a 31
Vidrio	25

Acciones

Cargas permanentes

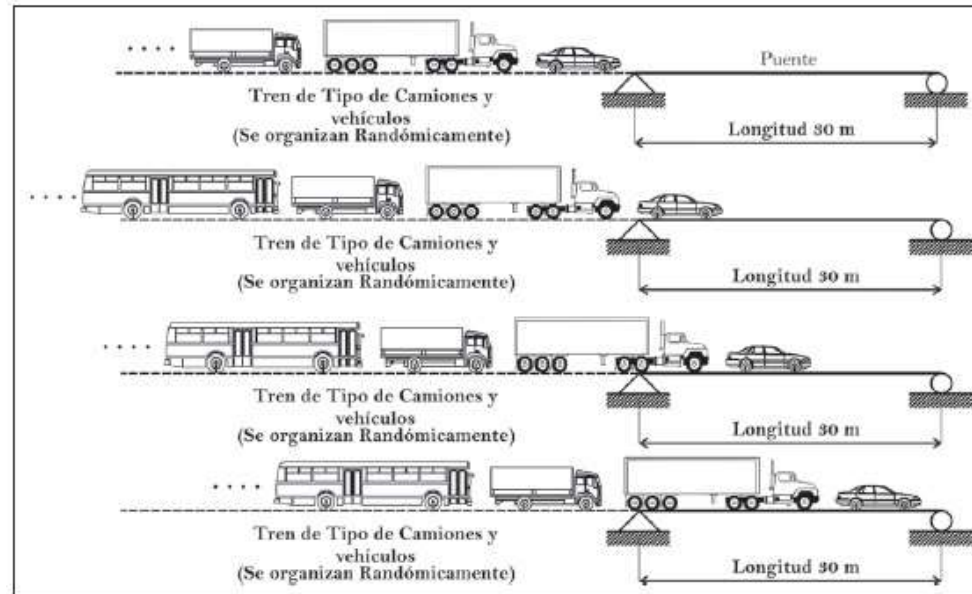


Acciones

Carga móvil

Los diferentes reglamentos tienen diferentes definiciones de las acciones a considerar. Estas dependen también del tipo de puente y de su importancia, ubicación, etc.

La carga móvil a considerar en el diseño es una representación abstracta de las cargas reales que intenta reproducir sus acciones sobre las estructuras de los puentes. Manejaremos las definiciones usuales del MTOP de Uruguay.



Acciones

Carga móvil

La carga móvil está compuesta por **vehículos tipo** y **trenes de vehículos** representados por cargas uniformemente distribuidas, que se suponen circulando en el sentido longitudinal del puente en cualquiera de los sentidos. Tanto los vehículos como las cargas uniformes serán colocadas en la posición más desfavorable para el cálculo de cada elemento, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, no debiendo considerarse las cargas del eje, rueda o superficie que produzca reducción de los esfuerzos solicitantes.



Acciones

Carga móvil

Vehículo tipo simple actual

El vehículo a considerar de **45 toneladas de peso total**, ocupa una superficie de **3.0 m de ancho y 6.0 m de largo**, consta de 3 ejes iguales de 15 toneladas cada uno separados 1.50 m y con la misma separación del borde de la superficie ocupada. **Cada rueda de 7.5 toneladas de carga, apoya en un ancho de 50 cm en sentido transversal y 20 cm en sentido longitudinal**, la distancia entre los centros de rueda de cada eje es de 2 m.

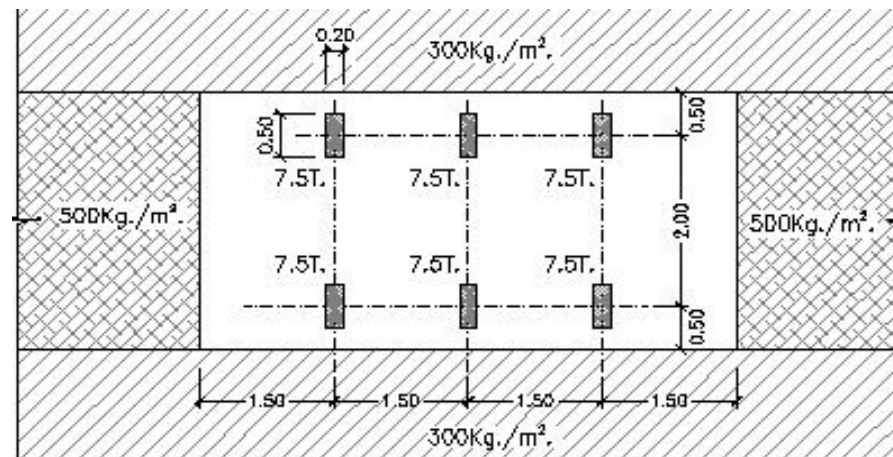


Acciones

Carga móvil

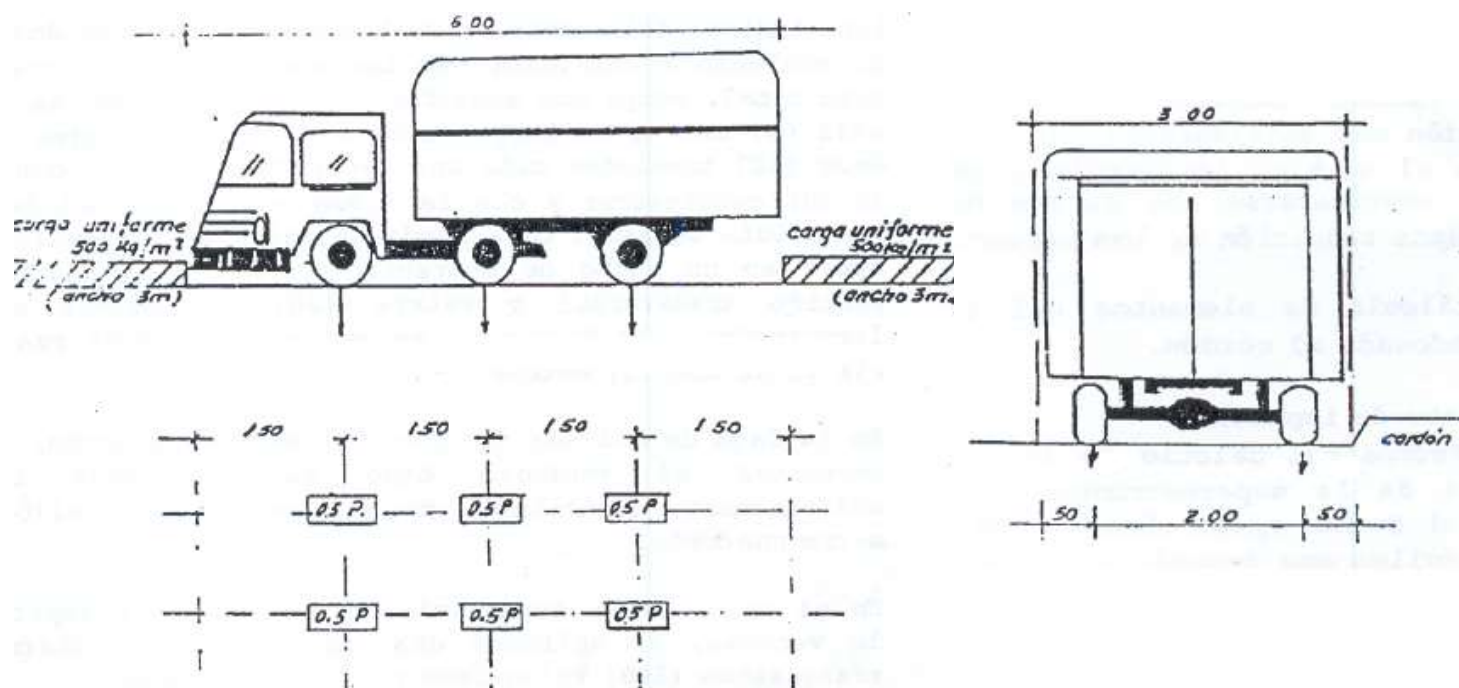
Trenes de vehículos (Franjas)

En la **faja de calzada de 3 m de ancho, anterior y posterior al vehículo tipo** será aplicada una **carga** uniformemente distribuida de **500 kg/m²**. En el **resto de la superficie de la calzada** se aplicará una **carga** uniformemente distribuida de **300 kg/m²**.



Acciones

Carga móvil

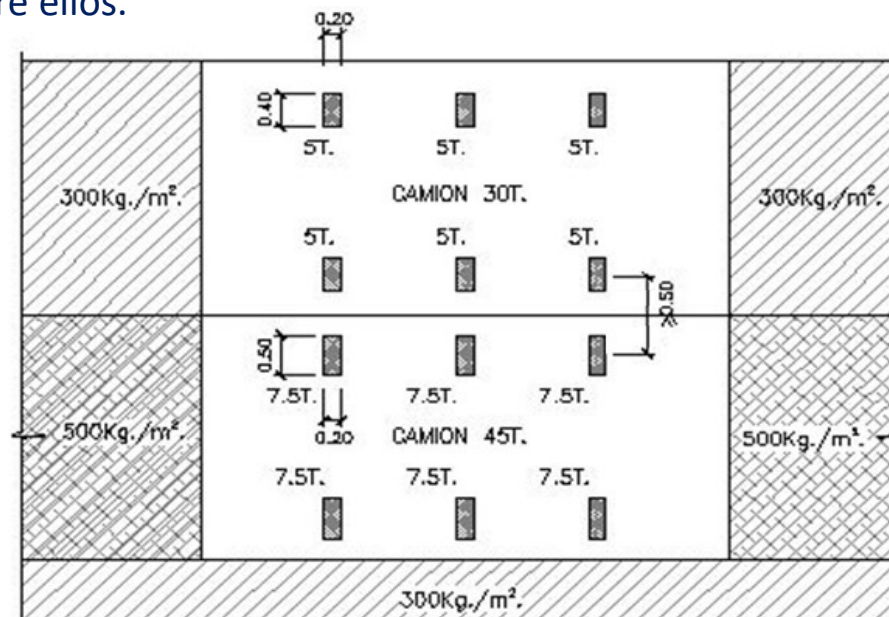


Acciones

Carga móvil

Múltiples vehículos y franjas

Ya es usual en Uruguay, al igual que en otros países, indicar la presencia de más de una franja de carga lo que implica más de un camión sobre el tablero (uno por faja) pudiendo ser de diferente carga e impronta así como acercarse transversalmente a los bordes y entre ellos.



Acciones

Carga móvil

Coefficiente de impacto

A los efectos del cálculo de las solicitaciones en todos los elementos de la superestructura y de las pilas (no de su cimentación) cuando están rígidamente conectadas a aquellas, las cargas móviles que deberán ser consideradas sobre la calzada, serán incrementadas multiplicándolas por el coeficiente de impacto para tener en cuenta el incremento de las solicitaciones debido a los **efectos dinámicos y vibratorios**.



¿A QUÉ SE DEBEN ESTOS EFECTOS?

Dicho coeficiente de impacto I será determinado por:

$$I = 1 + \frac{15}{L + 37.5} \leq 1.3$$

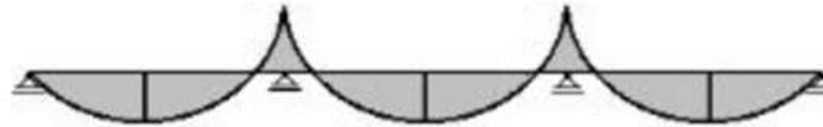
siendo L la longitud expresada en metros de la porción del tramo que es cargado para producir la máxima solicitación en el punto considerado. En general, L será la luz de cálculo de cada elemento.

Acciones

Carga móvil

Coefficiente de impacto

Para el cálculo de los momentos positivos en vigas continuas se tomará la luz del tramo que se considera y para el cálculo de los momentos negativos el promedio de los dos tramos adyacentes cargados.



Para el cálculo de los cortantes se considerará la longitud de la parte cargada del tramo desde el punto considerado hasta la reacción.

En el cálculo de ménsulas se tomará el coeficiente de impacto igual a 1.30 tanto para cortantes como para momentos.



**¿PUEDE APLICARSE
ALGUNA
SIMPLIFICACIÓN?**

Acciones

Carga sobre las veredas y ciclovías

Las veredas, ciclovías y sus soportes inmediatos se calculan con una carga móvil de 5 kN/m^2 . La influencia sobre los demás elementos de la estructura se calcularán con una carga móvil aplicada de 3 kN/m^2 . Estas cargas uniformes se colocarán sobre las veredas según convenga para producir los esfuerzos más desfavorables.

Las veredas no protegidas deberán diseñarse para soportar una rueda del vehículo tipo (75 kN). Esta carga no se superpondrá con las otras cargas de diseño de la vereda. La absorción de esta carga debe ser verificada en la propia vereda y en los elementos estructurales que la soportan de forma inmediata.



DISEÑO DE LA VEREDA O CICLOVÍA Y ELEMENTOS INMEDIATOS

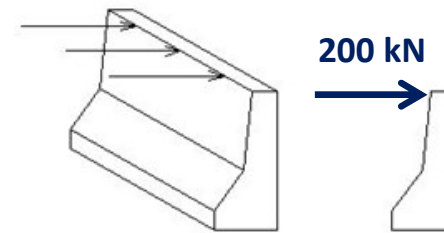


DISEÑO DE LOS DEMÁS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

Acciones

Carga en barreras New Jersey

Las defensas serán diseñadas para soportar una fuerza de choque **accidental** de 200 kN aplicada perpendicularmente y a la altura de su cara superior. Esta fuerza podrá suponerse repartida uniformemente en la base de la barrera, en un ancho de 3 m.



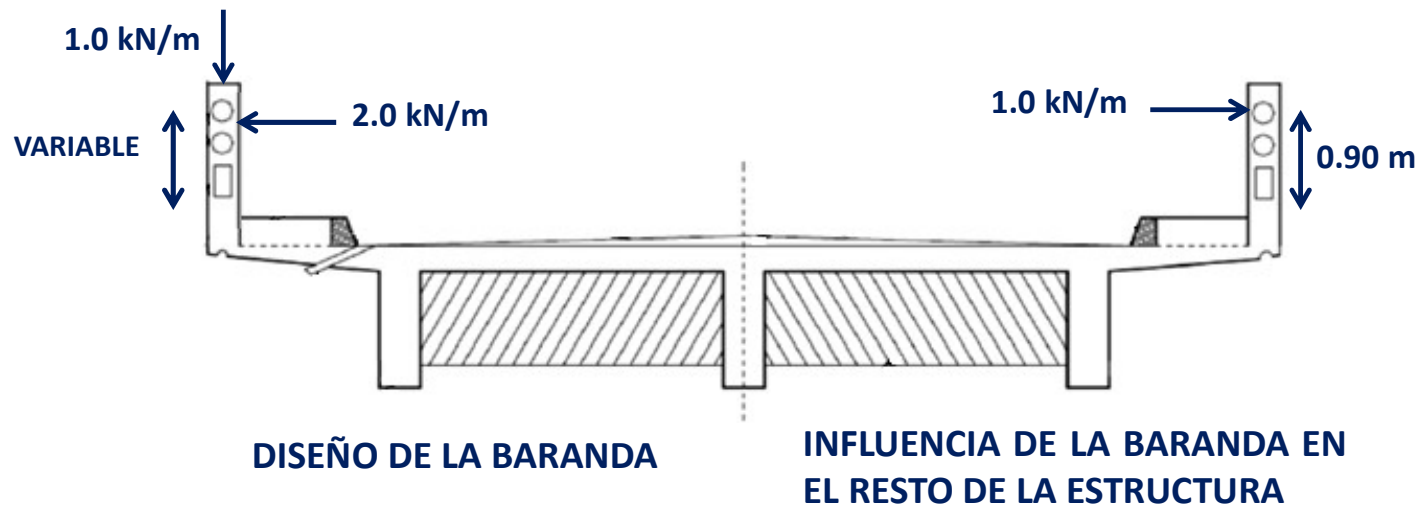
¿QUÉ SIGNIFICA SITUACIÓN DE ESTUDIO ACCIDENTAL?



Acciones

Carga sobre las barandas

- Las barandas serán proyectadas para soportar una carga vertical aplicada en la parte superior de las mismas de 1 kN/m y simultáneamente una fuerza horizontal de 2 kN/m aplicada a cualquier nivel de la misma, elegido para cada elemento de modo que sea la posición más desfavorable.
- La influencia de las cargas en la baranda sobre los demás elementos de la estructura se considerará como la producida por una carga horizontal actuando a 0.90 m sobre el nivel de la vereda y de una magnitud de 1 kN/m .



Acciones

Acción del viento

En general y salvo que las características de la estructura exijan otras consideraciones, se admitirá que el viento actúa horizontalmente y en dos direcciones principales, paralela y perpendicularmente al eje del puente.

Se considerarán dos situaciones:

- Puente cargado: 1.50 kN/m^2
- Puente descargado: 2.50 kN/m^2



**¿SON VALORES DE
VIENTO IMPORTANTES?
DISCUTIR.**

Acciones

Acción del viento

La superficie de acción de estas presiones se determinará según los siguientes criterios:

- Superficie de acción del viento de dirección perpendicular al eje del puente sobre la superestructura del puente descargado.

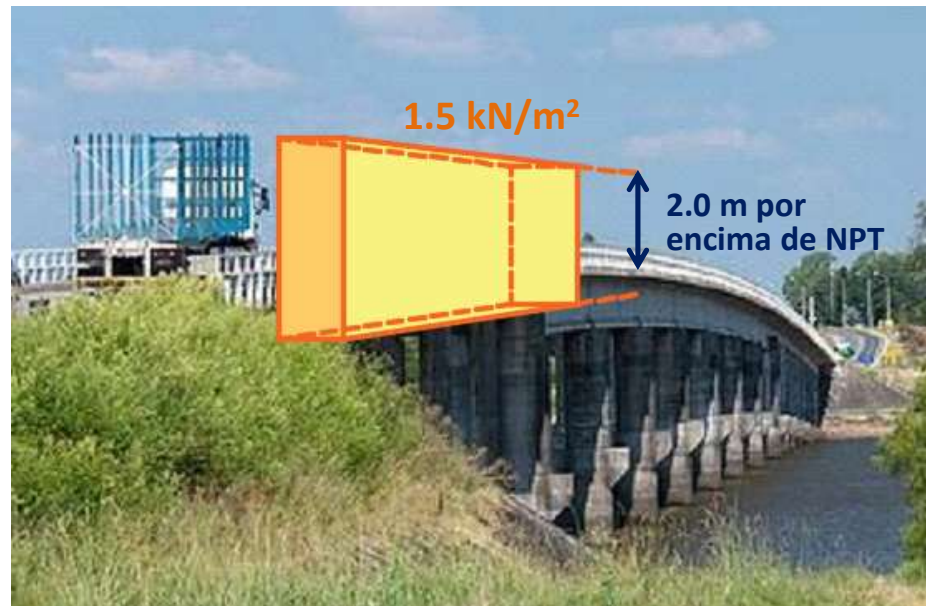
En el caso de superestructuras con vigas maestras de alma llena, la viga maestra delantera y eventualmente la parte del tablero que sobresalga.



Acciones

Acción del viento

- Superficie de acción del viento de dirección perpendicular al eje del puente sobre la superestructura del puente cargado.
La banda de la carga móvil debe suponerse continua y de 2 m de altura por encima del nivel de pavimento terminado.



Acciones

Esfuerzo longitudinal por aceleración o frenado

Se considerará como representativa de este esfuerzo, una fuerza horizontal paralela al eje del puente y ubicada al nivel de la calzada. Dicha fuerza será:

- El 5% de la carga vertical correspondiente al total de la carga móvil, sin impacto.
- En ningún caso podrán ser inferiores a las que resulten de aplicar en un solo tramo del puente una carga de la calzada de 260 kN o 360 kN (s/corresponda).



5% de la carga móvil vertical sin impacto



Fuerza única de 260 kN o 360 kN

Acciones

Presión de la corriente de agua

Las pilas y demás partes de la estructura que puedan estar sometidas a la presión de la corriente de agua, serán proyectadas teniendo en cuenta una presión determinada por la expresión:

$$p = k \cdot v^2$$

siendo **p** la presión expresada en kg/m², **v** la máxima velocidad del agua expresada en m/s y **k** un coeficiente de forma que tiene los siguientes valores:



k=70



k=26



k=35

(ángulo de espolón $\leq 60^\circ$)

La presión adoptada debe ser comparada con las correspondientes a las acciones de viento y ver cuál predomina.

Acciones

Presión de la corriente de agua



**¿CUÁL VALOR DE k
APLICA EN CADA
CASO?**



Acciones

Variaciones de temperatura

Tanto para el cálculo de las deformaciones como para el de las solicitaciones producidas en estructuras hiperestáticas, se considerarán las siguientes variaciones de temperatura:

- Metálicas: Se considerará que la temperatura de la estructura **puede aumentar o disminuir 35°C** con respecto a la temperatura de construcción. Para el calentamiento desigual de piezas determinadas se tendrá en un cuenta una diferencia de 15°C.
- De hormigón: Se considerará que la temperatura de la estructura **puede aumentar o disminuir 20°C** con respecto a la temperatura de construcción.

En ambos casos el coeficiente de dilatación térmica es: $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$



**¿SE CONSIDERA UNA
ACCIÓN LENTA O
INSTANTÁNEA?**

Acciones

Retracción y fluencia del hormigón

Tanto para el cálculo de las deformaciones como para el de las solicitaciones producidas en estructuras hiperestáticas de hormigón armado, se tendrá en cuenta la influencia de la retracción, admitiendo que produce una deformación de $250 \mu\text{d}$.



¿SE CONSIDERA UNA ACCIÓN LENTA O INSTANTÁNEA?



En las estructuras con piezas premoldeadas de hormigón se podrán disminuir los valores anteriores considerando la parte de contracción producida antes de montar las piezas. Se puede considerar lo mismo para el caso de piezas precomprimidas de acuerdo con el período de tiempo que se demore en tensar los cables.

Acciones

Retracción y fluencia del hormigón

En el proyecto y el plan de trabajo se deben establecer las precauciones necesarias para que las hipótesis adoptadas respondan al proceso real de ejecución de las obras. Por otra parte, en ningún caso se admitirá ninguna reducción mayor del 50% de los valores establecidos de ε .

Asimismo, en estas estructuras, como el material sufre el fenómeno de fluencia, tanto para el cálculo de las deformaciones como de las solicitaciones debido a acciones permanentes o de aplicación lenta, se puede hacer uso simplificado de un “módulo de elasticidad diferido”:

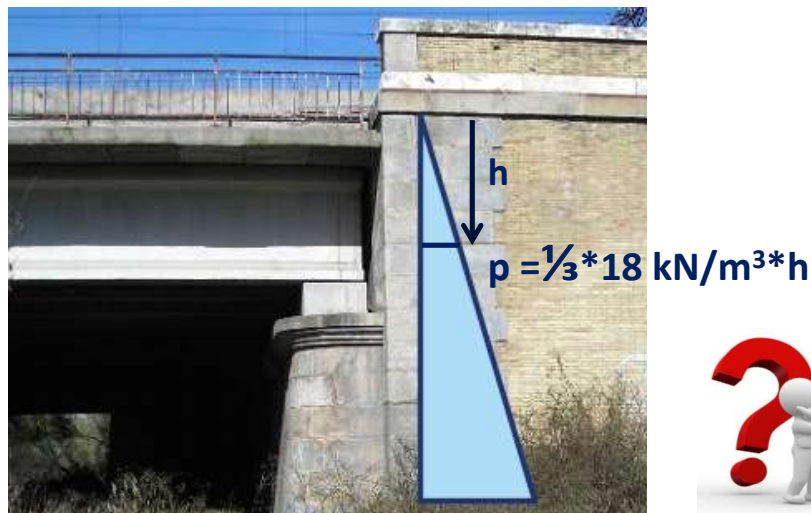
$$E_{diferido} = \frac{E_{instantáneo}}{1 + \varphi} \xrightarrow{\varphi=2} E_{diferido} = \frac{E_{instantáneo}}{3}$$

Acciones

Empujes de tierra

Se tendrán en cuenta en el proyecto las presiones que puedan provocar las masas de tierra que deban ser soportadas por determinadas partes de la estructura, tales como los estribos. Cuando el tránsito pueda llegar hasta una distancia de la parte superior de un muro de contención menor o igual a la mitad de su altura se deberá considerar la sobrecarga transmitida por tal causa (pudiendo adoptar 10 kN/m^2 verticales).

Se tomará en consideración a los efectos del cálculo de los empujes de tierra un ángulo de fricción entre muro y suelo $\phi=0^\circ$, y un peso específico $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$.



¿DE DÓNDE SALE EL FACTOR $\frac{1}{3}$ DE ESA ECUACIÓN?

Acciones

Empujes de tierra

Se verificará la estabilidad para el caso en que el terraplén o terreno natural queden saturados de agua. El coeficiente de seguridad para vuelco y/o deslizamiento será como mínimo 1.5. No obstante deberán preverse drenajes adecuados.

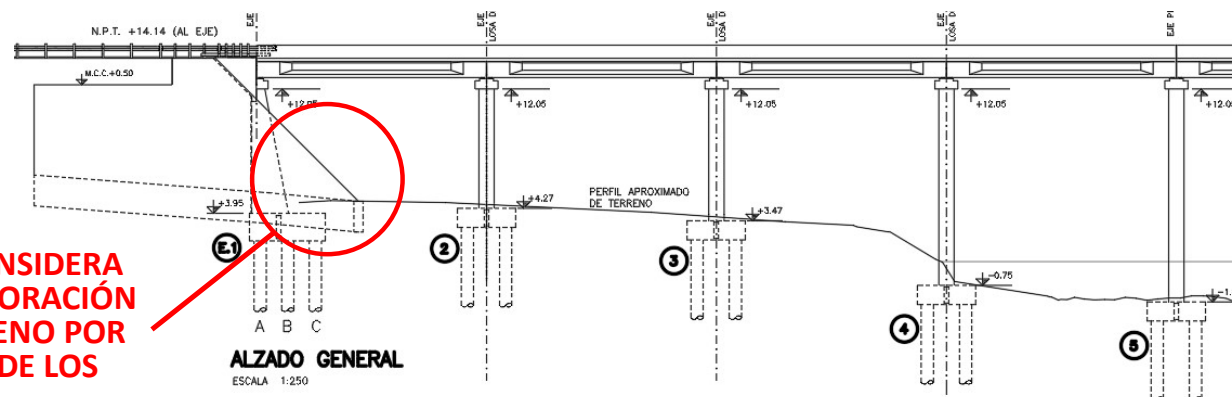
Para el cálculo de empujes sobre pilares o elementos semejantes se tomará un ancho ficto igual a 3 veces el ancho real de la pieza.



¿A QUÉ SE DEBE ESTO?

En los pórticos de estribo no se admitirá la colaboración del terreno por delante de los pilares.

NO SE CONSIDERA LA COLABORACIÓN DEL TERRENO POR DELANTE DE LOS PILARES



Acciones

Elementos estructurales sumergidos

En los casos de pilas y estribos sumergidos o que puedan quedar sumergidos en el agua se tendrá en cuenta al hacer los cálculos de estabilidad, los pesos húmedos correspondientes.

Efectos de montaje y especiales

La estructura se proyectará considerando las diferentes etapas constructivas. La forma en que se realiza el montaje de los elementos que la conforman, la existencia de apoyos transitorios y los procedimientos constructivos empleados deberán ser considerados en el diseño de los elementos que componen a la obra de paso.



Acciones

Fuerza centrífuga y otras fuerzas transversales

En puentes curvos los vehículos generan una fuerza transversal centrífuga F_t considerada como puntual en la superficie del pavimento que actúa horizontalmente en dirección perpendicular al eje del tablero. El valor de la misma es:

- $F_t = 0,2 F_v$ si $R < 200$ m
- $F_t = 40 F_v/R$ si $200 \text{ m} \leq R \leq 1500$ m
- $F_t = 0$ si $R > 1500$ m

F_v es el peso total de la suma de los vehículos tipo camiones y R el radio del eje del tablero en planta.

En los puentes curvos de radio menor a 1500 m, se tendrá en cuenta el efecto del derrape durante el frenado mediante una fuerza transversal en la superficie del pavimento, igual al 25% de la fuerza de frenado, que actúa simultáneamente con ella.



Acciones

Impacto vehicular sobre elementos estructurales

Siempre que los pilares de pórticos, vigas invertidas, barras extremas de vigas de reticulado o cualquier otro elemento estructural no se encuentren protegidos por su ubicación o por medidas especiales contra posibles choques de vehículos se deberá suponer una carga fija horizontal equivalente de 1000 kN ubicada a 1.20 m de altura y paralela al eje de la calzada o bien de 500 kN perpendicular a dicha dirección. Para el cálculo se supondrá el valor más desfavorable. Estas cargas de diseño se considerarán como accidentales ($\gamma_{SCU}=1.0$).



Acciones

Cargas de fatiga

En el estudio del fenómeno de fatiga producido por el tráfico se adoptará el vehículo de 360 kN sin impacto. No será necesario considerar cargas de faja.

Desviación y asiento de los estribos y pilas

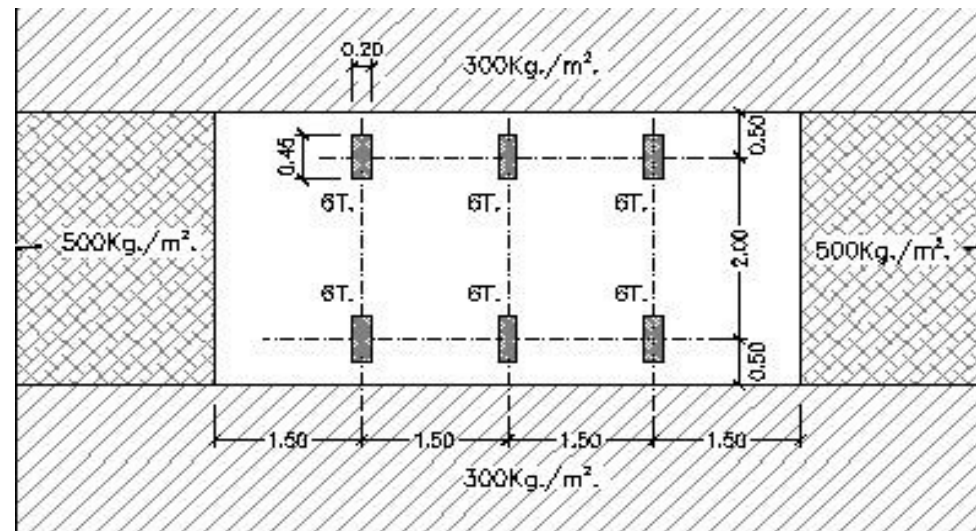
Deben considerarse estos efectos cuando de acuerdo a la naturaleza de la estructura puedan producir sollicitaciones adicionales. En particular, en las cimentaciones profundas se deberá contemplar el rozamiento negativo y empujes laterales originados por movimientos del terreno perpendiculares a la cimentación.



Evolución del tren de cargas de la DNV

Tren de 36 toneladas (1976)

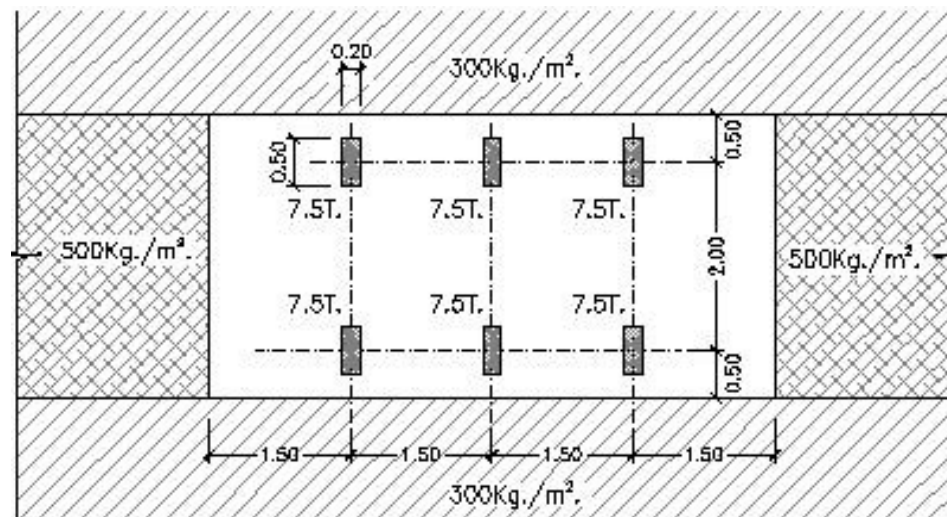
- Carga vehículo = 360 kN
- SCU en faja de calzada contigua de 3.0 m = 5.0 kN/m²
- Resto de calzada y veredas = 3.0 kN/m²
- Frenado = 70 kN



Evolución del tren de cargas de la DNV

Tren de 45 toneladas (2003)

- Carga vehículo = 450 kN
- SCU en faja de calzada contigua de 3.0 m = 5.0 kN/m²
- Resto de calzada y veredas = 3.0 kN/m²
- Frenado = 130 kN



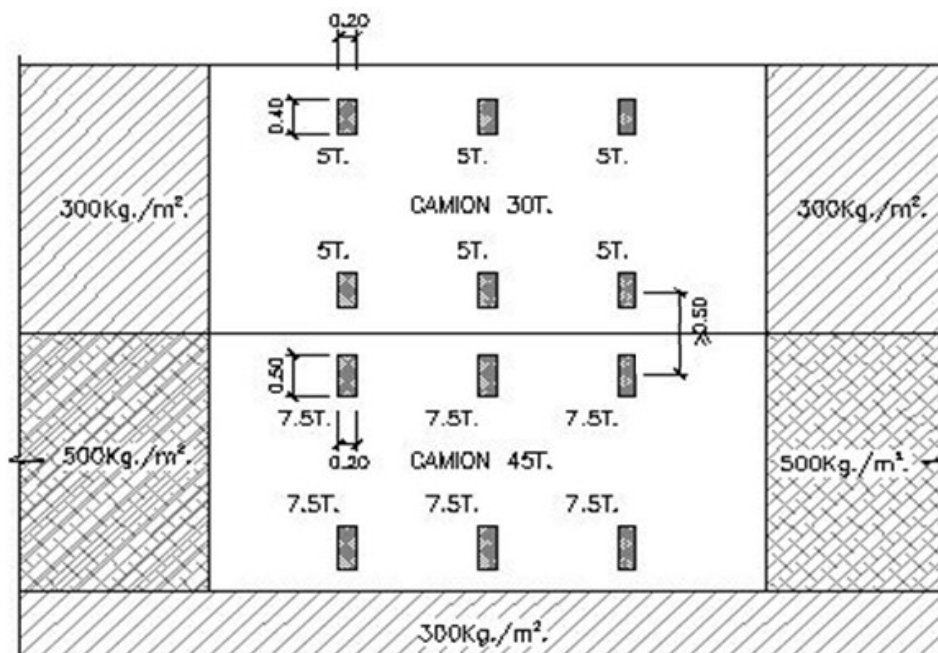
Evolución del tren de cargas de la DNV

Tren de 45 + 30 toneladas – Puentes de 9.20 m entre pies de BNJ

- La carga móvil correspondiente al **vehículo de 450 kN** y la carga distribuida de 5.0 kN/m^2 se considera para la **faja principal** de 3.0 m de ancho.
- Para la **faja secundaria** de 3.0 m de ancho adosada a la principal se considera un **vehículo** de las mismas características geométricas pero **de 300 kN** de carga total con 50 kN por rueda y una impronta de 40 cm x 20 cm.
- En el cálculo del tablero la rueda se puede suponer adosada al elemento de contención fijo no rebasable (flex beam o barrera New Jersey) y los vehículos aproximarse transversalmente con una **distancia entre ejes de ruedas mayor o igual a 0.50 metros**.
- Los vehículos de las fajas principal y secundaria se colocarán **en la misma ubicación longitudinal**.
- Frenado mínimo en un solo tramo = 260 kN. Sigue siendo válido el 5% de la carga móvil sin impacto.

Evolución del tren de cargas de la DNV

Tren de 45 + 30 toneladas – Puentes de 9.20 m entre pies de BNJ



Evolución del tren de cargas de la DNV

Tren de 45 + 30 + 21 toneladas – Puentes de más de 9.20 m entre pies de BNJ

- La carga móvil correspondiente al **vehículo de 450 kN** y la carga distribuida de 5.0 kN/m^2 se considera para la **faja principal** de 3.0 m de ancho.
- Para la **faja secundaria** de 3.0 m de ancho adosada a la principal se considera un **vehículo** de las mismas características geométricas pero **de 300 kN** de carga total con 50 kN por rueda y una impronta de 40 cm x 20 cm.
- Se considera una tercera faja de 3.0 m de ancho con un **vehículo** de iguales características pero **de 210 kN** de carga total con 35 kN de carga por rueda y una impronta de 40 cm x 20 cm.
- En el cálculo del tablero la rueda se puede suponer adosada al elemento de contención fijo no rebasable (flex beam o barrera New Jersey) y los vehículos aproximarse transversalmente con una **distancia entre ejes de ruedas mayor o igual a 0.50 metros**.
- Los vehículos de las fajas principal y secundaria se colocarán **en la misma ubicación longitudinal**.
- Frenado mínimo en un solo tramo = 360 kN. Sigue siendo válido el 5% de la carga móvil sin impacto.

Líneas de Influencia

La **línea de influencia** de un esfuerzo o de una deformación en una sección es la función que proporciona la variación de dicho esfuerzo o deformación en esa sección fija de la estructura, para las distintas posiciones de una carga puntual de valor unitario que se desplaza, paralela a sí misma, a lo largo de la estructura.

Por lo tanto hay una línea de influencia para cada esfuerzo o deformación de cada sección de la estructura. Todas las líneas de influencia se expresan en función de algún parámetro o coordenada que define la posición de la carga móvil en su trayectoria.

Cuando en lugar de considerar una carga moviéndose en una viga o pórtico en forma paralela a sí misma, lo hace sobre una superficie, se puede generalizar el concepto de línea de influencia para hablar de **superficie de influencia**.

Líneas de Influencia

Las líneas de influencia pueden usarse para dos importantes fines:

- Determinar la posición de la carga que producirá un valor máximo del efecto para la que se construye.
- Calcular el valor de ese efecto con las cargas así colocadas, o bien, para cualquier condición de cargas.

Para obtener el valor máximo de un efecto, debido a una carga aislada, se colocará la carga en el punto en que la ordenada de la línea de influencia de dicho efecto es máxima.

Para obtener el valor máximo de un efecto producido por una carga uniformemente distribuida, se colocará la carga en todas las zonas de la estructura para las cuales las ordenadas de las líneas de influencia tienen el signo del efecto deseado.

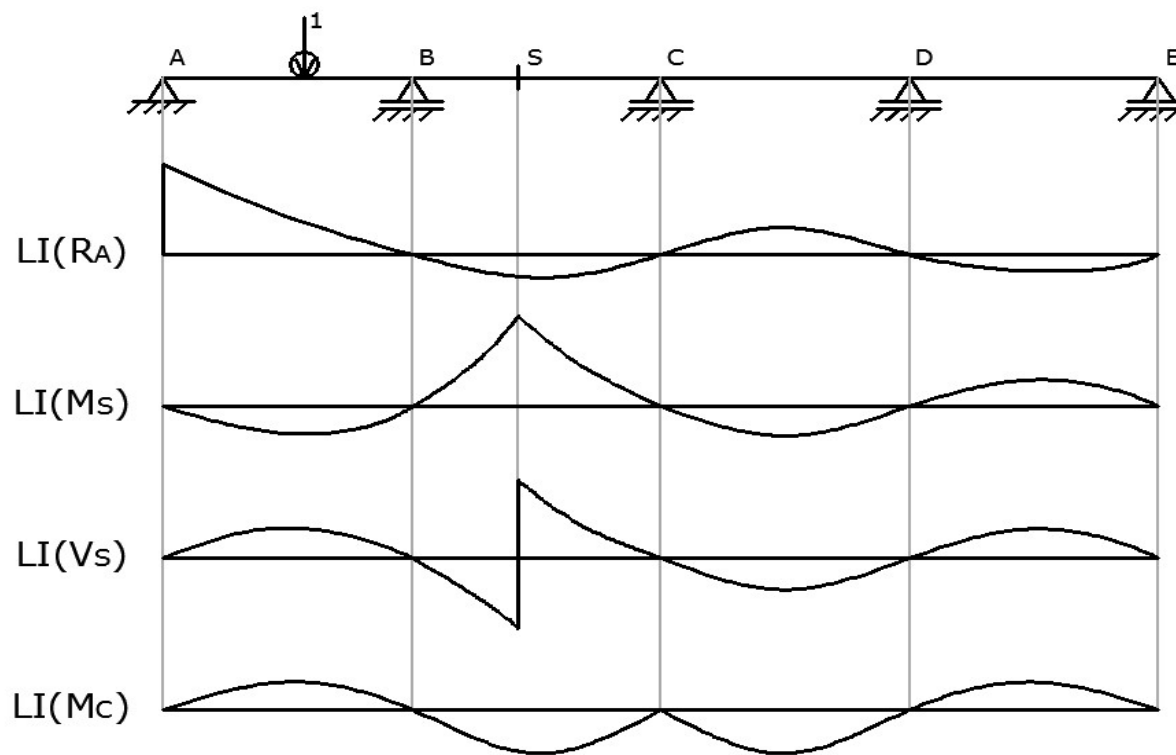
Líneas de Influencia

Principio de Müller - Breslau

Indica que la línea de influencia de un esfuerzo cualquiera en una estructura es igual a la deformada que adopta la estructura, cuando se aplica un desplazamiento virtual relativo unitario en la dirección y sentido del esfuerzo.

La línea de influencia obtenida esbozando la forma deformada de la estructura se denomina **línea de influencia cualitativa**. Su aplicación es de gran importancia en estructuras hiperestáticas, en donde, en algunas ocasiones simplemente se necesitan conocer las posiciones en las que deben colocarse las cargas vivas para maximizar los valores de las funciones en estudio.

Líneas de Influencia



Bibliografía

- Pliego General de Condiciones para la Construcción de Puentes y Carreteras.
- Especificaciones Técnico Complementarias y Modificativas del Pliego General de Condiciones de la Dirección Nacional de Vialidad.
- Material de Líneas de Influencia de la materia Mecánica Estructural de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Año 2016.