



CAPÍTULO 13

PUNTES PREFABRICADOS

Holcim Modular Solutions ofrece tecnología para la construcción de puentes. La prefabricación y el uso de concreto preesforzado son aspectos esenciales para lograr puentes económicos y estructuralmente eficientes.

Los puentes se pueden clasificar de acuerdo con:

- Su función: vehiculares, peatonales.
- Los materiales principales usados para la construcción de la estructura: concreto armado, concreto preesforzado, acero y sección compuesta, entre otros.
- El tipo de estructura: simplemente apoyados, continuos, simples de tramos múltiples, voladizos, en arco, atirantado, colgantes o levadizos, entre otras.



Figura 13.2 Puente peatonal tipo arco

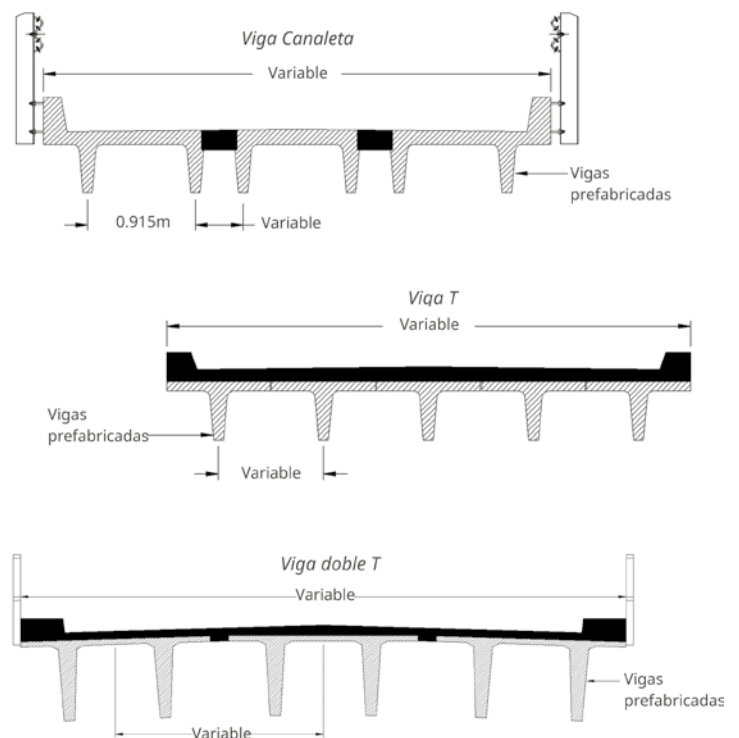


Figura 13.1 Elementos típicos de puentes

La estructura de un puente se puede subdividir en subestructura y superestructura. En la primera se incluyen bastiones y pilas, que pueden ser prefabricados o colados in situ. Su diseño depende de las condiciones del suelo, hidráulicas, sísmicas y del tipo de carga vehicular. Para los puentes vehiculares, en el caso de la superestructura, aunque puede colarse in situ, es más común usar elementos prefabricados pretensados o postensados, según el caso. Las secciones pueden ser canaletas, T, doble T o I, que dependen de la longitud que se requiera.

Las vigas canaletas, T o doble T pueden o no tener losa vaciada in situ. Cuando no tengan losa vaciada in situ, se vaciará solamente una junta entre ellas. Cuando se vacíe una losa in situ, el espesor mínimo requerido es de 10 cm. Para el caso de vigas I, I modificada y tipo bulbo, la losa se puede resolver vaciada in situ, con losas prefabricadas o una combinación de ambas.

Para el caso de los puentes peatonales, Holcim Modular Solutions ha construido puentes menos tradicionales, como los tipos arco que se han edificado durante los últimos años en varias rutas nacionales del país.

13.1 Puentes vehiculares

Como todo sistema prefabricado, estos puentes tienen muchas ventajas:

- Rapidez de construcción
- Disminución de formaletas en la obra
- Alta resistencia del concreto
- Excelente control de calidad
- Bajo mantenimiento

Puentes cortos con el uso de vigueta

Holcim Modular Solutions suministra las viguetas en este caso, las cuales son útiles hasta cargas HS-15, con las siguientes ventajas:

- La solución más económica del mercado
- Instalación manual de vigas
- Alta resistencia

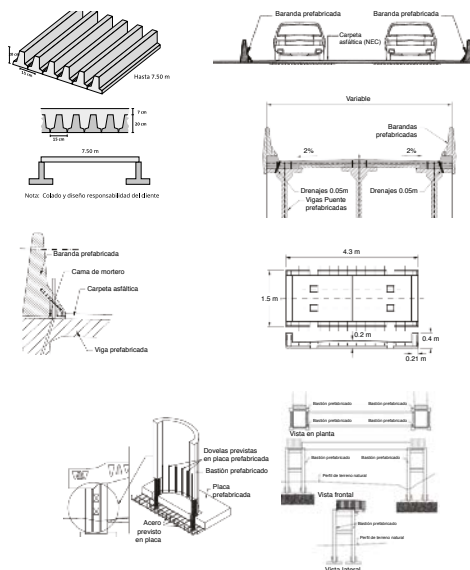


Figura 13.3 Geometría de puente con viguetas

Geometrías para puentes vehiculares

Tabla 13.1 Puentes de velocidad inferior a 70 km/h y sin ciclovía			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	-	-	No aplica.
Ap	6050	9700	Ancho total interno del puente.
h	150	150	Altura recomendada del bordillo, máximo 180 mm.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	-	-	No aplica.

Tabla 13.2 Puentes de velocidad superior a 70 km/h y sin ciclovía			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	-	-	No aplica.
Ap	6950	10600	Ancho total interno del puente.
h	-	-	No aplica.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	810	810	Altura mínima de la baranda New Jersey.

Tabla 13.3 Puentes con ciclovía			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	2500	2000	Ancho mínimo recomendado. Ideal 2500 mm.
Ap	6950	14600	Ancho total interno del puente.
h	150	150	Altura recomendada del bordillo, máximo 180 mm.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	810	810	Altura mínima de la baranda New Jersey.

Tabla 13.4 Características de las secciones para puentes

Tipo de puente Sección de viga utilizada		Lux máxima	Altura H	Espesor de losa h (ver nota 2)	Área	Momento de inercia	Posición del centroide (Yb)	Módulo de la sección 5b	Módulo de la sección 5t	Peso	
											m
Viga doble T	Tipo I		7.5	48.0	7.5	2263.5	390488	35.53	10990.4	31314.2	565.9
			7.5	54.5	14.0	3453.0	587428	40.94	14348.5	43320.6	863.3
	Tipo II		25.0	112.5	7.5	6326.0	7410917	72.82	101770.4	186767.1	1581.5
			25.0	119.0	14.0	7886.00	9722345	81.31	119571.3	257955.6	1971.5
Viga canaleta	Tipo I		10.0	48.0	7.5	1652.25	323910	32.30	10028.2	20631.2	413.1
			10.0	54.5	14.0	2312.0	495538	37.71	13140.8	29513.9	578.0
	Tipo II		27.0	112.5	7.5	5637.25	6439955	68.50	94013.9	146362.6	1409.3
			27.0	119.0	14.0	6661.00	8377513	75.76	110579.6	193744.5	1665.3
Viga T		12.0	48.0	7.5	1131.75	195244	35.52	5496.7	15644.6	282.9	
		12.0	54.5	14.0	1726.50	293714	40.94	7174.3	21660.3	431.6	
Viga I		25.0	144.0	N/A	3402.0	8285571	67.40	122931.3	108166.7	850.5	
		28.0	170.2	N/A	3777.0	12794514	79.85	160231.9	141610.6	944.3	
Viga I modificada		30.0	157.0	N/A	4633.0	14593583	89.50	163056.8	216201.2	1158.3	
		38.0	183.2	N/A	4994.5	21511449	103.55	207739.7	270074.7	1248.6	
Viga bulbo		50.0	200.0	N/A	6790.75	37398196	106.77	350268.8	401139.1	1697.7	

Nota:

1. Las luces máximas están definidas para carga HS-20+25%, especificaciones AASHTO y condición isostática. Para cargas menores y/o puentes hiperestáticos estas luces pueden aumentarse.

2. Para las vigas sección T, doble T y canaleta se define que:

a) Cuando el espesor de la losa es 7.5cm, hay que vaciar una losa en sitio de 10 cm mínimo.

b) Cuando el espesor de la losa es de 14cm, no se requiere losa en sitio, sólo se vaciará una junta entre vigas Subestructura y superestructura puente vehicular Pauita, carretera Interamericana Sur

Barandas de concreto para puentes

Holcim Modular Solutions ofrece barandas prefabricadas de concreto para separar:

- Calzadas de rodamiento-acera
- Sentidos de circulación de rodamiento en calzadas

Entre esas opciones, se dispone de barandas estándar o con faldones, que se colocan en la orilla de los puentes. La función principal del faldón es tapar la viga del puente, mejorando así su estética.



Figura 13.4 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto

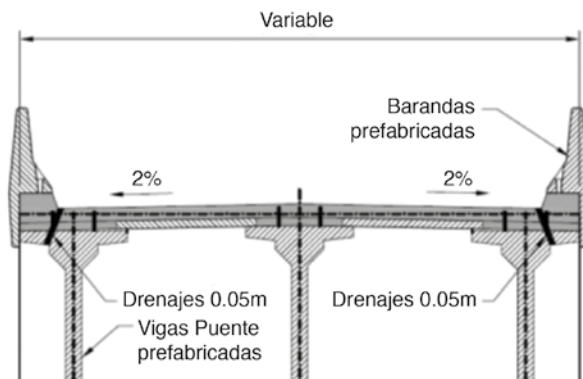


Figura 13.5 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto con faldones

En la figura 13.5 se aprecia un detalle del anclaje de una baranda simple en la calzada del puente.

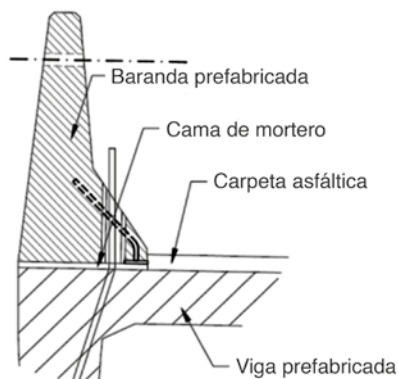


Figura 13.6 Detalle de anclaje de una baranda



Figura 15.7 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto sobre puente Río Aranjuez

Losas prefabricadas para puentes vehiculares

Las losas prefabricadas de concreto son elementos estructurales diseñados para soportar cargas de puentes en claros variables.

Estos elementos son ideales para edificar puentes y permiten reducir los costos de construcción y en los plazos de ejecución. Además, mejoran la calidad, la limpieza y la estética.

El tamaño estándar de la losa prefabricada es de 4,30 m de ancho por 1,50 m de largo, según se puede observar en la figura 13.8.

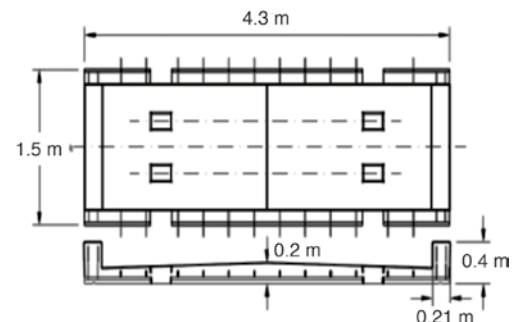


Figura 13.8 Losa prefabricada de concreto prefabricada típica

Bastiones prefabricados

En general, los bastiones para puentes vehiculares y peatonales pueden ser prefabricados. En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos.

Detalles de diafragmas laterales y centrales

Existe la posibilidad de contar con vigas de diafragma prefabricadas de concreto.

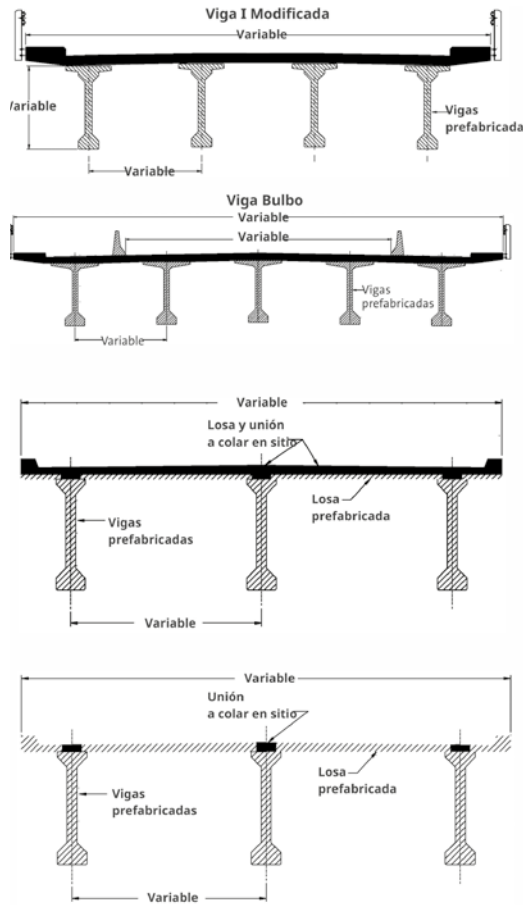


Figura 13.9 Losas prefabricadas para puentes

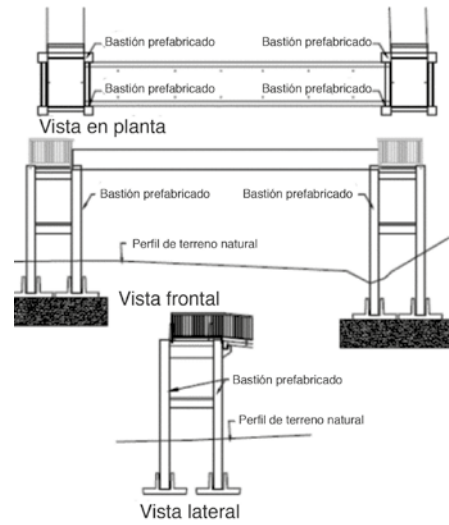
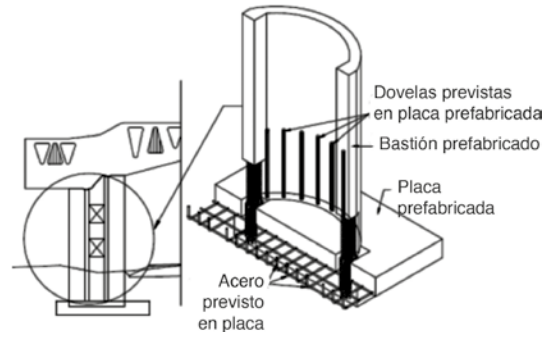


Figura 13.10 Ejemplos de bastiones prefabricados



Figura 13.11 Bastión prefabricado en puente peatonal Río Oro



Figura 13.12 Bastión prefabricado en puente peatonal Multiplaza Escazú



Figura 13.13 Bastión prefabricado en puente peatonal Pozos de Santa Ana

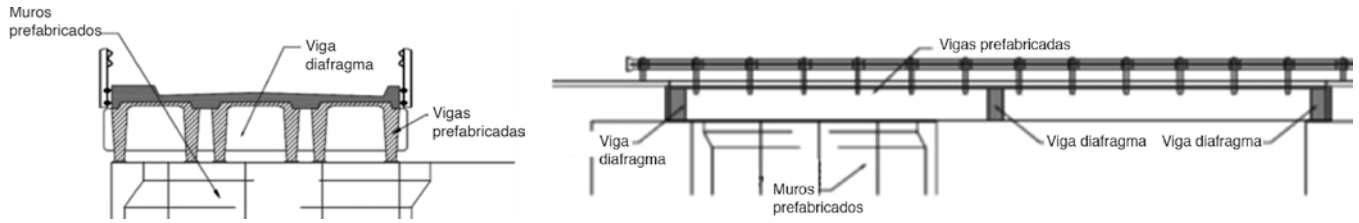


Figura 13.14 Ejemplo de vigas diafragma prefabricadas de concreto

13.2 Puentes peatonales

Estas obras se diseñan con las especificaciones de anchos y pendientes requeridas para personas discapacitadas. El sistema constructivo es similar al que se usa para puentes vehiculares.

Como todo sistema prefabricado, estos puentes minimizan el tiempo de construcción, dado que se reduce el tiempo de las obras que deben ser coladas en sitio. Además, permiten tener una mayor limpieza y son amigables ambientalmente porque utilizan menos formaleta y hay menos desperdicio. A continuación, se enlistan elementos básicos geométricos para el diseño de puentes peatonales.

Requisitos técnicos para rampas accesibles

El entorno físico se diseña teniendo en mente los conceptos de seguridad y eficacia para el mayor número de personas, incluyendo aquellas con discapacidad. La accesibilidad a los puentes peatonales debe garantizar el cumplimiento de la ley 7600, Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad en Costa Rica y su reglamento. A continuación se presenta una lista de los requisitos técnicos para las rampas de acceso a los puentes peatonales.

Pendiente longitudinal

Las pendientes máximas de las rampas de acceso dependen de su longitud, la que se mide en su proyección horizontal (L). Cuando la longitud es menor que 3,0 m, la pendiente máxima es de 12 %.

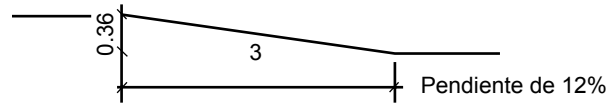


Figura 13.15 Pendiente máxima del 12%. Fuente: INTE W4 Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas. Requisitos.

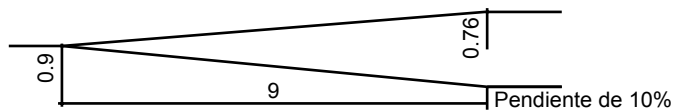
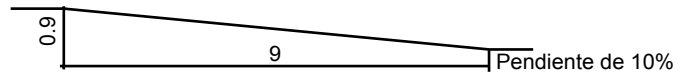


Figura 13.16 Pendiente máxima del 10%

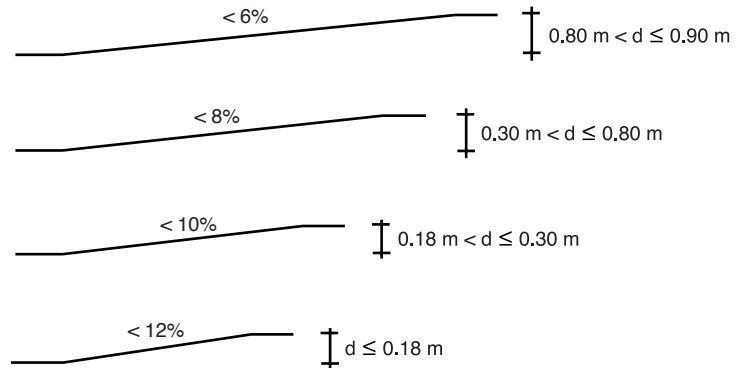


Figura 13.17 Pendientes máxima longitud en función del desnivel a salvar (d). Fuente: INTE W4 "Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas. Requisitos."



Figura 13.18 Puentes peatonales sobre la ruta 27 Santa Ana

Ancho

El ancho mínimo libre de las rampas debe ser de 1,2 m.

Descansos

Los descansos deben colocarse:

- Entre tramos de rampa no mayores a 9 m.
- Cuando exista la posibilidad de un giro.
- Frente a cualquier tipo de acceso.

El largo y ancho del descanso debe tener una dimensión libre mínima de 1,2 m.

Superficies de aproximación a rampas

Al iniciar y finalizar la rampa de acceso, debe existir una superficie de aproximación:

- Que permita inscribir un círculo de 1,5 m de diámetro como mínimo.
- Que cuente con un cambio de textura a piso como advertencia.
- Que no debe ser invadida por elementos fijos, móviles o desplazables.

Pasamanos

Los pasamanos son un elemento continuo de apoyo y sujeción que acompaña la dirección de una circulación horizontal o vertical.

Cuando las rampas salven desniveles superiores a 25 cm, deben llevar pasamanos que cumplan con la norma INTE W7 “Accesibilidad de las personas al medio físico edificios. Equipamientos. Pasamanos. Requisitos”.

En el diseño de rampas con anchos superiores al doble del mínimo, se recomienda colocar pasamanos intermedios. Si se presenta doble circulación simultánea, deben ubicarse en el centro.

Bordillos

Para rampas que salven desniveles superiores a 10 cm se deben colocar bordillos, según la citada norma INTE W7.

Pavimentos

Los pavimentos deben ser firmes, antideslizantes y no presentar obstáculos. No se admiten los tratamientos químicos de la superficie (como el encerado) que modifiquen estas condiciones.

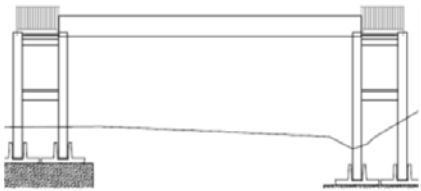



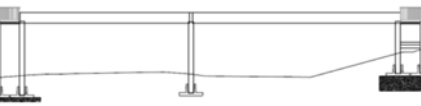

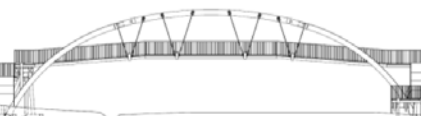

Tipo de puente	Claro a salvar (m)	Ejemplos		
Peatonal placas de fundaciones	Hasta 15 m			Puente peatonal Coyolar, sobre Ruta 27
Peatonal con bastiones	Hasta 30 m			Puente peatonal Río Oro, sobre Ruta 27
Peatonal con pila en centro del claro	Hasta 40 m			Puente peatonal Forum I, sobre Ruta 27
Arco	Hasta 45 m			Puente peatonal Los Arcos, sobre Ruta 1

Figura 13.19 Clasificación de puentes vehiculares en función del claro a salvar

Obstáculos

Las rampas deben estar libres de obstáculos en su ancho mínimo, desde su piso terminado hasta un plano paralelo a él ubicado a 2,1 m de altura. Dentro de este espacio no se deben colocar elementos que lo invadan, como luminarias, carteles y equipamiento.

Señalización

Las rampas deben estar señaladas de forma adecuada, cumpliendo con los requisitos de la norma INTE W12 "Accesibilidad de las personas al medio físico. Símbolo internacional de acceso (SIA). Requisitos".

Soluciones típicas para puentes peatonales en función del claro a salvar

Según la luz que deban salvar los puentes peatonales, estas estructuras se pueden clasificar en uno de los grupos que se muestran en la figura 13.19.

13.3 Cargas para puentes

De acuerdo con la AASHTO, en la historia reciente del diseño de puentes se pueden distinguir claramente tres periodos:

Previo a 1993: se usa la especificación AASHTO Standard, en la que las cargas, factores de carga y capacidades se manejan de modo determinístico, es decir, sin consideraciones mayores en cuanto a la variabilidad de esos elementos.

Entre 1993 y el 2007: se comienza usar la metodología AASHTO bajo los conceptos de diseño por factorización de cargas y resistencias LRFD (Load and Resistance Factor Design, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, coexisten dos metodologías para la determinación de cargas y diseño de puentes.

A partir del 2007: se emplea únicamente la metodología LRFD para el diseño de puentes.

Bajo la metodología de diseño LRFD, se consideran las siguientes cargas:

Camión estándar de diseño

El camión estándar de diseño que se utiliza es el especificado en la figura 13.20, donde la distancia de los ejes delanteros es de 4300 mm y la distancia al eje trasero varía entre 4300 mm y 9000 mm. La distancia entre los dos ejes más pesados se toma como aquella que, estando entre los límites de 4300 mm y 9000 mm, produce los mayores efectos. El Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) de Costa Rica utiliza en algunos casos una carga que denomina HS 20 + 25, equivalente a la HS25.

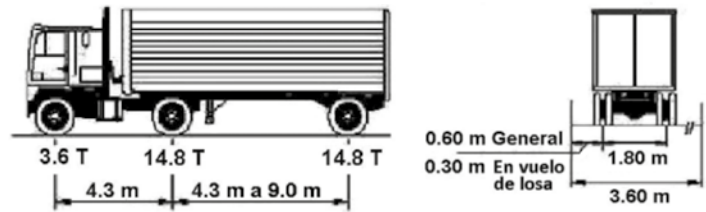


Figura 13.20 Camión estándar de diseño. Nota: 0.60 m de distancia a la baranda o bordillo para diseño de superestructura. 0.30 m de distancia a la baranda o bordillo para diseño de la viga de borde.

Carga tándem

La carga tándem de diseño que se utiliza es la especificada en la figura 13.21. Consiste de dos ejes separados 1200 mm de una carga de 11 200 kg; transversalmente, las llantas se consideran espaciadas 1800 mm.

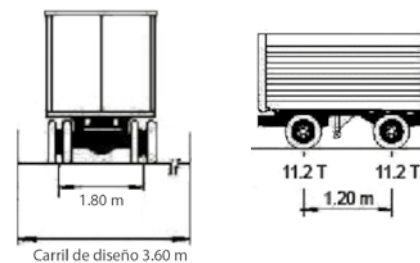


Figura 13.21 Carga Tándem

Carga de carril

La carga de carril (figura 13.22) se define como una carga distribuida de 960 kg/m en un ancho de carga de 3000 mm.

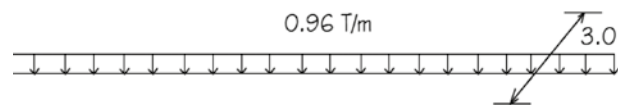


Figura 13.22 Carga de carril

Carga de fatiga

La carga para el análisis de fatiga se considera una combinación de Camión de diseño o tándem de diseño + carga de carril de diseño.

Como nota general, para un momento negativo entre puntos de contraflexión bajo carga uniforme, así como en la reacción de pilares interiores, se utiliza 90 % de la sollicitación debida a dos camiones de diseño separados como mínimo 15 m entre el eje delantero de un camión y el eje trasero del otro, combinada con 90 % de la sollicitación debida a la carga del carril de diseño

En la tabla 13.5 se muestran los momentos y cortantes máximos producidos en puentes simplemente apoyados utilizando estas cargas.

En el manual AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2010) se pueden encontrar mayores detalles de las cargas de diseño, presencia de múltiples sobrecargas, factores dinámicos, factores de distribución entre las vigas centrales o de borde, fuerzas centrífugas y de frenado, entre otros aspectos.

Tabla 13.5 Reacciones, cortantes y momentos máximos para carga viva HL-93 actuando en una vía y en condición simplemente apoyada sin factorar

Claro	Momentos					Cortante y Reacciones			
	Camión	Tanden	Carril	Total	% del claro	Camión	Tanden	Carril	Total
m	Ton m	Ton m	Ton m	Ton m	%	Ton	Ton	Ton	Ton
0.3	1.1	0.9	0.0	1.1	0.50	14.4	11.3	0.1	14.5
0.6	2.2	1.7	0.0	2.2	0.50	14.4	11.3	0.3	14.7
0.9	3.3	2.6	0.1	3.4	0.50	14.4	11.3	0.5	14.9
1.2	4.4	3.4	0.2	4.6	0.50	14.4	11.3	0.6	15.0
1.5	5.5	4.3	0.3	5.8	0.50	14.4	13.5	0.7	15.1
1.8	6.6	5.1	0.4	7.0	0.50	14.4	15.0	0.9	15.9
2.1	7.7	6.0	0.5	8.2	0.50	14.4	16.1	1.0	17.1
2.4	8.8	6.9	0.7	9.5	0.50	14.4	16.9	1.2	18.0
2.7	9.9	8.6	0.9	10.8	0.50	14.4	17.5	1.3	18.8
3.0	11.0	10.3	1.1	12.1	0.50	14.4	18.0	1.4	19.4
3.4	11.6	12.6	1.3	13.9	0.40	14.4	18.4	1.6	20.0
3.7	12.6	14.3	1.5	15.8	0.40	14.4	18.8	1.7	20.5
4.0	14.1	15.9	1.8	17.7	0.45	14.4	19.0	1.9	20.9
4.3	15.2	17.6	2.1	19.7	0.45	14.4	19.3	2.0	21.3
4.6	16.3	19.3	2.4	21.7	0.45	15.3	19.5	2.2	21.6
4.9	17.4	21.0	2.8	23.8	0.45	16.2	19.7	2.3	22.0
5.2	18.5	22.7	3.1	25.8	0.45	16.9	19.8	2.4	22.3
5.5	19.6	24.4	3.5	27.9	0.45	17.6	20.0	2.6	22.6
5.8	20.6	26.1	3.9	30.0	0.45	18.2	20.1	2.7	22.9
6.1	21.7	27.8	4.3	32.1	0.45	18.7	20.3	2.9	23.1
6.4	22.8	29.5	4.8	34.3	0.45	19.2	20.3	3.0	23.4
6.7	23.9	31.2	5.3	36.4	0.45	19.6	20.5	3.2	23.6
7.0	25.0	32.9	5.7	38.6	0.45	20.0	20.6	3.3	23.9
7.3	26.1	34.6	6.3	40.8	0.45	20.4	20.6	3.5	24.1
7.6	27.2	36.3	6.8	43.1	0.45	20.7	20.7	3.6	24.3
7.9	28.8	38.0	7.3	45.3	0.45	21.1	20.8	3.7	24.8
8.2	31.0	39.7	7.9	47.6	0.45	21.3	20.8	3.9	25.2
8.5	33.2	41.4	8.5	49.9	0.45	21.6	20.9	4.1	25.7
8.8	35.4	43.1	9.1	52.2	0.45	22.0	21.0	4.2	26.1
9.1	37.5	44.8	9.8	54.5	0.45	22.3	21.0	4.3	26.6
9.4	39.7	46.4	10.4	56.9	0.45	22.6	21.1	4.5	27.1
9.8	42.1	48.1	11.1	59.3	0.45	23.0	21.1	4.6	27.5
10.1	44.6	49.8	11.8	61.7	0.45	23.2	21.2	4.8	28.0
10.4	45.5	51.4	12.7	64.1	0.50	23.5	21.2	4.9	28.4
10.7	48.0	53.1	13.4	66.6	0.50	23.8	21.2	5.0	28.8
11.0	50.5	54.9	14.2	69.1	0.50	24.0	21.2	5.2	29.2
11.3	52.9	56.6	15.0	71.6	0.50	24.2	21.3	5.3	29.6
11.6	55.4	58.3	15.8	74.1	0.50	24.4	21.3	5.5	29.9
11.9	57.9	60.0	16.7	76.7	0.50	24.7	21.3	5.6	30.2
12.2	60.4	61.7	17.6	79.3	0.50	24.8	21.4	5.8	30.6
12.8	66.6	65.1	19.2	85.7	0.45	25.2	21.4	6.0	31.2
13.4	71.4	68.5	21.0	92.5	0.45	25.5	21.5	6.3	31.9
14.0	76.3	71.9	23.0	99.3	0.45	25.8	21.5	6.6	32.4
14.6	81.2	75.3	25.0	106.2	0.45	26.1	21.6	6.9	33.0
15.2	86.1	78.7	27.2	113.3	0.45	26.4	21.6	7.2	33.6
15.8	91.0	82.1	29.4	120.4	0.45	26.6	21.6	7.5	34.1
16.5	95.9	85.5	31.7	127.6	0.45	26.8	21.6	7.8	34.6
17.1	100.8	88.9	34.1	134.8	0.45	27.0	21.7	8.1	35.1
17.7	105.7	92.3	36.5	142.2	0.45	27.2	21.7	8.4	35.6
18.3	110.6	95.7	39.1	149.7	0.45	27.4	21.7	8.6	36.0
18.9	115.4	99.1	41.8	157.2	0.45	27.5	21.8	8.9	36.5
19.5	120.3	102.5	44.5	164.8	0.45	27.7	21.8	9.2	36.9
20.1	125.2	105.9	47.3	172.5	0.45	27.8	21.8	9.5	37.3
20.7	130.1	109.2	50.2	180.3	0.45	27.9	21.8	9.8	37.8
21.3	135.0	112.6	53.2	188.2	0.45	28.1	21.9	10.1	38.2
22.9	146.8	121.7	61.7	208.5	0.50	28.4	21.9	10.8	39.2
24.4	159.1	130.3	70.2	229.3	0.50	28.6	22.0	11.5	40.1
25.9	171.5	138.9	79.3	250.7	0.50	28.8	22.0	12.2	41.1
27.4	183.8	147.4	88.9	272.7	0.50	29.0	22.0	13.0	42.0
29.0	196.1	156.0	99.0	295.2	0.50	29.2	22.0	13.7	42.9
30.5	208.5	164.6	109.7	318.2	0.50	29.4	22.1	14.4	43.8
33.5	233.2	181.7	132.8	365.9	0.50	29.7	22.1	15.8	45.5
36.6	257.9	198.9	158.0	415.9	0.50	29.9	22.1	17.3	47.2
39.6	282.5	216.0	185.4	468.0	0.50	30.1	22.1	18.7	48.8
42.7	307.2	233.2	215.1	522.3	0.50	30.2	22.2	20.2	50.4
45.7	331.9	250.3	246.9	578.8	0.50	30.4	22.2	21.6	52.0
48.8	356.6	267.5	280.9	637.5	0.50	30.5	22.2	23.0	53.6
51.8	381.3	284.6	317.1	698.4	0.50	30.6	22.2	24.5	55.1
54.9	406.0	301.8	355.5	761.5	0.50	30.7	22.2	25.9	56.7
57.9	430.7	318.9	396.1	826.8	0.50	30.8	22.3	27.4	58.2
61.0	455.4	336.0	438.9	894.3	0.50	30.9	22.3	28.8	59.7