

**GUIA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE
UN PUENTE EN SECCION COMPUESTA CON VIGAS DE ALMA LLENA**

**ARMANDO GÓMEZ VILLABONA
DANNY ALEXANDER RAMIREZ ROJAS
JOSE ALEJANDRO TAVERA SALAMANCA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2017

**GUIA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE
UN PUENTE EN SECCION COMPUESTA CON VIGAS DE ALMA LLENA**

**ARMANDO GÓMEZ VILLABONA
DANNY ALEXANDER RAMIREZ ROJAS
JOSE ALEJANDRO TAVERA SALAMANCA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para
optar al título de Especialista en Estructuras**

**Director
Ing. RAFAEL AUGUSTO ZAFRA DULCEY
Especialista en Estructuras**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

A la memoria de mi querida Madre Elisa, pilar fundamental en mi vida. A mis hermanas Marlene y Teresa a quienes les debo lo que soy

Armando Gómez

A mi madre Martha Rojas. A mi esposa Jazmín Rojas

Danny Ramírez

A mi familia por su apoyo para que nuestro tiempo se convierta en esta monografía.

Alejandro Tavera

Al Ingeniero Álvaro Viviescas por estimular la creación de la Cohorte Especial a la cual pertenecemos.

Al Ingeniero Rafael Zafra que ha dedicado su conocimiento, experiencia y tiempo para dirigir esta monografía.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO Y ALCANCE DE LA MONOGRAFÍA.....	20
3. ALCANCE DE LAS ESPECIFICACIONES Y FILOSOFÍA DE DISEÑO	22
3.1 DISPOSICIONES GENERALES.....	22
3.2 FILOSOFÍA DE DISEÑO	23
3.3 DUCTILIDAD	24
3.4 REDUNDANCIA	25
3.5 IMPORTANCIA OPERATIVA.....	25
4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE DISEÑO	26
4.1 LOCALIZACIÓN	26
4.2 GEOMETRÍA DEL TABLERO.....	26
4.2.1 Desarrollo de la Sección General.....	26
4.2.2 Luz y tipo de estructura.....	30
4.2.3 Gálibos	32
4.2.4 Vigas.....	32
5. CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGAS	33
5.1 FACTORES DE CARGA.....	33
5.1.1 Cargas permanentes	33
5.1.2 Aplicación de la carga vehicular.....	40
5.1.3 Cargas de fatiga	42
5.1.4 Cargas peatonales.....	42
5.1.5 Amplificación de la carga dinámica.....	43
5.1.6 Fuerza de frenado BR.....	43
5.1.7 Fuerza de colisión vehicular CT.....	44

5.1.8 Carga de viento WL Y WS	44
5.2 COMBINACIÓN DE CARGAS	46
6. DISEÑO DE ELEMENTOS DE SECCIÓN I SOLICITADOS A FLEXIÓN	50
6.1 DISPOSICIONES GENERALES	50
6.2 SECCIONES COMPUESTAS	50
6.3 PRE DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN DE ACERO (PERFIL I).....	51
6.3.1 Altura de las vigas principales.....	51
6.3.2 Espaciamiento entre vigas	52
6.3.3 límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal	52
6.3.4 Chequeo para constructibilidad.....	54
6.4 CHEQUEOS REALIZADOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE LA SECCIÓN COMPUESTA	55
7. DISEÑO DE LOSAS DE TABLERO EN CONCRETO.....	57
7.1 ALTURA MÍNIMA Y RECUBRIMIENTO.....	57
7.2 ACCIÓN COMPUESTA	57
7.3 APOYO EN LOS BORDES	57
7.4 DISEÑO DE LOSAS EN VOLADIZO	57
7.5 DISEÑO EMPÍRICO	58
7.6 APLICACIÓN	58
7.7 LONGITUD EFECTIVA.....	58
7.8 ARMADURA REQUERIDA	59
8. SISTEMA DE APOYOS Y JUNTAS	60
8.1 APOYOS DE ELASTÓMERO REFORZADO CON ACERO.....	60
8.2 TIPOS DE APOYOS	62
8.3 PROPIEDADES FÍSICAS	63
8.3.1 Módulo de cortante	63
8.3.2 Deflexión por flujo plástico	63
8.3.3 Compresión, Rotación y Cortante Combinadas	65
8.3.4 Deformación por carga axial	66
8.3.5 Deformación de cortante debida a la rotación.....	66

8.3.6 Deformación unitaria de cortante debida a la deformación de cortante	67
8.3.7 Estabilidad de apoyos elastoméricos	67
8.3.8 Refuerzo	68
8.3.9 Deflexiones de compresión.....	69
8.4 DISEÑO Y ANÁLISIS DE APOYOS DE ELASTÓMERO	69
8.5 SISTEMAS DE JUNTAS.....	72
8.5.1 Función de las juntas	72
8.5.2 Recomendaciones para juntas.....	73
9. OBRAS COMPLEMENTARIAS	74
9.1 BARANDAS.....	74
9.1.1 Estado limite y factores de resistencia	75
9.2 BARANDAS DE TRÁFICO.....	75
9.3 BARANDAS PEATONALES	76
9.4 BORDILLOS Y ANDENES.....	77
9.5 BERMAS	78
9.6 ELEMENTOS DE CAPTACIÓN	78
10. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE	80
10.1 ESTRUCTURACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE EN SECCIÓN COMPUESTA CON VIGAS DE ALMA LLENA.....	80
11. CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFIA.....	83

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ancho de calzada.....	27
Cuadro 2. Velocidad de diseño	28
Cuadro 3. Ancho de berma.....	29
Cuadro 4. Bombeo de la calzada.....	30
Cuadro 5. Resumen características geométricas de la sección	30
Cuadro 6. Pre dimensionamiento vigas metálicas.	32
Cuadro 7. Masas unitarias	34
Cuadro 8. Superestructuras cubiertas en los artículos 4.6.2.2.2 y 4.6.2.2.3.....	35
Cuadro 9. Distribución de cargas vivas para el momento en vigas interiores	36
Cuadro 10. Distribución de cargas vivas para momento en vigas exteriores longitudinales.....	37
Cuadro 11. Factores de presencia múltiple.....	38
Cuadro 12. Amplificación por carga dinámica	43
Cuadro 13. Valores de V_o y Z_o , para condiciones aguas arriba	45
Cuadro 14. Presiones básicas PB, correspondientes a $V_B=160$ Km/h.....	45
Cuadro 15. Combinaciones y Factores de carga	49
Cuadro 16. Profundidades mínimas para superestructuras de alturas contantes.....	52
Cuadro 17. Control de chequeos para las etapas del proceso constructivo	56
Cuadro 18. Clasificación de Elastómeros por rangos de aplicación	62
Cuadro 19. Propiedades Físicas de los elastómeros	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sección típica de la superestructura propuesta	31
Figura 2. Cargas y separación entre ejes camión de diseño	38
Figura 3. Separación eje transversales Camión de diseño	39
Figura 4. Esquema tándem de diseño	39
Figura 5. Carga de carril	40
Figura 6. Detalle apoyo elastómero reforzado.	61
Figura 7. Andenes peatonales	74
Figura 8. barandas típicas de tráfico	76
Figura 9. Cargas que actúan sobre las barandas para peatones	77
Figura 10. Esquema de elementos de drenaje.....	79

LISTA DE ANEXOS
(Ver Carpeta de Anexos en el CD)

- Anexo A. Estructuración de la superestructura de un puente en sección compuesta con vigas de alma llena
- Anexo B. Diseño de losa en concreto
- Anexo C. Características generales de la geometría de los elementos
- Anexo D. Características del perfil en I actuando como sección simple
- Anexo E. Características del perfil en I y losa en concreto actuando como sección semicompuesta
- Anexo F. Características del perfil en I y losa en concreto actuando como sección compuesta compacta
- Anexo G. Análisis de cargas para la viga externa
- Anexo H. Análisis de cargas para la viga interna
- Anexo I. Chequeo a fatiga por carga viva
- Anexo J. Conectores de cortante tipo canal
- Anexo K. Diseño de riostras horizontales y verticales
- Anexo L. Chequeo de flexiones por cargas muertas y vivas
- Anexo M. Diseño de cojinetes en neopreno reforzado
- Anexo N. Diseño de baranda vehicular mixtas
- Anexo O. Diseño de baranda peatonal
- Anexo P. Cálculos de factores de distribución para cortantes y momentos.
- Anexo Q. Plano 1 Planta tablero
- Anexo R. Plano 2 Detalles estructurales
- Anexo S. Plano 3 Detalles perfil y baranda
- Anexo T. Plano 4 Secciones transversales

RESUMEN

TITULO: GUIA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUEBTE EN SECCION COMPUESTA CON VIGAS DE ALMA LLENA*

AUTORES: ARMANDO GÓMEZ VILLABONA
DANNY ALEXANDER RAMÍREZ ROJAS
JOSÉ ALEJANDRO TAVERA SALAMANCA**

PALABRAS CLAVE: Puente, Sección simple, Sección compuesta, Sección semicompuesta, Sección no compacta, MP (Momento Plástico), Perfil I metálico, Tablero de concreto.

DESCRIPCION:

La presente monografía tiene como objetivo proveer los lineamientos generales del diseño de puentes con vigas metálicas y losa de concreto de acuerdo a la normatividad vigente, es decir el Código Colombiano de Construcciones de Puentes (CCP-14) que está basado en el Standard Specifications for Highway Bridges de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation officials).

Para lograr este propósito, se dividió el diseño en diez capítulos. En los primeros tres capítulos se esbozan los alcances de las especificaciones y la filosofía de diseño. El cuarto capítulo describe las características generales de diseño y ubicación. El quinto capítulo recopila las cargas y combinaciones de carga. En el capítulo sexto se recogen las principales normas y criterios para analizar y diseñar los elementos de sección I solicitados a flexión, de acuerdo a los estados límites para las diferentes etapas del proceso constructivo. En el capítulo séptimo se desarrolla el diseño de la losa de concreto, en el capítulo octavo se estudian los sistemas de apoyos y juntas.

En el capítulo noveno se dan algunas recomendaciones sobre las obras complementarias tales como barandas, bermas y drenajes. Finalmente, en el capítulo décimo para ilustrar los conceptos presentados en cada capítulo, se incluye el “Diseño de la superestructura de un puente vehicular sobre vía nacional de primer orden”, en un sistema de sección compuesta de losa en concreto y vigas en perfil de acero, cuyos resultados se presentan en los anexos.

* Trabajo de especialización.

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Especialización en Estructuras. Director: Ing. Rafael Augusto Zafra Dulcey.

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGICAL GUIDE FOR THE DESIGN OF THE SUPER STRUCTURE OF A BRIDGE IN COMPONENT SECTION WITH FULL SOUL BEAMS*

AUTHOR: ARMANDO GÓMEZ VILLABONA
DANNY ALEXANDE RAMÍREZ ROJAS
JOSÉ ALEJANDRO TAVERA SALAMANCA **

KEYWORDS: Bridge, Single Section, Composite Section, Semi-Composite Section, Non-Compact Section, MP (Plastic Moment), Steel I shape, Concrete slab.

DESCRIPTION:

This monography aims to provide the general guidelines of bridge design with steel beams and concrete slab in agreement with the current normative, the Bridges Construction Colombian Code (CCP-14), which is based in the Standard Specifications for Highway Bridges from AASHTO.

In order to achieve this purpose, the design was divided in eight chapters. In the first three chapters are shown specifications scope and design philosophy. The fourth one describes design general characteristics and location. The fifth one is a compile of loads and load combinations. Chapter six is all about main codes and criterion to analyze and design I-sections subjected to flexure, according to the limit states for the different constructive stages. In the seventh chapter is developed the concrete slab design, in the next one, joints and supports systems are studied.

Into chapter nine are given some recommendations about complementary works as railings, drains and berms. Finally, the last chapter is to illustrate the concepts presented in each section, it is included the "superstructure design of a vehicular bridge over a first order national highway", in a concrete slab composite section system and beams with steel profile, which results are presented in the annex.

* Specialization work

** Industrial University of Santander. Faculty of Mechanical Physics. School of Civil Engineering. Specialization in Structures. Director: Ing. Rafael Augusto Zafra Dulcey.

PRÓLOGO

En el estado actual del análisis y diseño de puentes, en lo referente a la superestructura, no existe un manual que compile la totalidad de la metodología para el análisis y diseño de este tipo de estructura en sección compuesta de tablero en concreto y soporte en vigas metálicas de alma llena, a pesar de ser una tipología ampliamente utilizada.

En análisis y diseño de puentes, se encuentran textos con metodologías para superestructuras en concreto reforzado y/o presforzado.

La presente Monografía busca contribuir en este sentido, tomando como guía el Código Colombiano de Diseño de Puentes 2014 (CCP-14), que está integrado por especificaciones que emplean el Método de Diseño con Factores de Carga y resistencia (LRFD-Load and Resistance Factor Design) y en el Manual de Diseño Geométrico que siguen la metodología para diseño y análisis de puentes tipo Instituto Nacional de Vías (Invías).

De otra parte, el CCP-14 recoge los criterios básicos y una metodología a seguir basado en las normas Standard Specifications for Highway Bridges de AASHTO 2012.

Se analizará una sección geométrica de la superestructura para una vía primaria plana de una calzada de dos carriles, con velocidad de diseño de 80 kph, que cumpla con las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico del Invías, según el capítulo IV.

INTRODUCCIÓN

En el año 1995 el Ministerio del Transporte publicó el primer Código de Puentes, norma colombiana con el título “Código Colombiano de Puentes”. Este código se actualizó mediante la resolución 108 del 26 de enero de 2015 donde se adoptó como norma técnica para el diseño sísmico de puentes. Está basado en las Normas y Especificaciones dadas por AASHTO, como complemento a lo dispuesto por el Código Colombiano de Puentes. De conformidad a lo anterior, en esta monografía se ha seguido los requisitos, pautas y recomendaciones del código nacional y de la AASHTO 2012.

Esta norma rige para los puentes de la red nacional de carreteras, debido a que los entes territoriales departamentales no poseen normas de diseño.

De otro lado, la finalidad de esta monografía es proveer los lineamientos generales del diseño de puentes con vigas metálicas y losa en concreto que se están implementando en nuestro país. Para lograr este objetivo, se presenta la metodología usada, mostrando las principales etapas del diseño para obtener una visión global del diseño de la superestructura de sección compuesta de un puente. Estas etapas comprenden la concepción del proyecto según el tipo de puente, la evaluación de cargas, el diseño de losas y vigas, consideraciones constructivas, juntas, apoyos y barandas.

No obstante, aunque existen diversos tipos de vigas, losas, sistemas de apoyo, sistemas de juntas, cada uno con sus condiciones específicas, aquí sólo se han tratado las consideraciones más comunes e importantes que se presentan en el diseño de estos componentes de las superestructuras.

Finalmente, para ilustrar los conceptos presentados en cada capítulo, se incluye el “Diseño de la superestructura de un puente vehicular sobre vía nacional de primer

orden”, donde se estudia el diseño de un puente desde una etapa de concepción, dimensionado y alineación para el diseño final de la superestructura en losa de concreto y vigas de acero en sección compuesta.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología aplicada para el análisis y diseño de un puente vehicular de una calzada de dos carriles y andenes peatonales en cada costado, con tablero en concreto reforzado y vigas metálicas ensambladas de alma llena.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Diseñar cada uno de los componentes de la superestructura: vigas, tablero, barandas, juntas y neoprenos de apoyos.

-Realizar el análisis estructural del comportamiento de la superestructura en las etapas de construcción.

2. MARCO TEÓRICO Y ALCANCE DE LA MONOGRAFÍA

Para lograr los objetivos planteados de esta Monografía, que se orientan a obtener una metodología aplicada (guía metodológica) para el análisis y diseño de un puente vehicular de una calzada de dos carriles y andenes peatonales en cada costado, con tablero en concreto reforzado y vigas metálicas ensambladas de alma llena, se determinan los siguientes alcances del análisis y el diseño, basados en el Código Colombiano de Puentes CCP-14:

- Diseño del tablero en concreto reforzado por cargas últimas y método simplificado de la sección 9 capítulo 7.
- Diseño de las vigas metálicas por el método de los coeficientes de carga y resistencia de la sección 6 capítulo 10.
- Diseño de las barandas vehiculares mixtas y peatonales externas, sección 13.
- Diseño de los apoyos en neopreno y topes sísmicos, sección 14.
- Diseño de juntas de contracción y dilatación del puente, sección 14.
- Modelamiento estructural para análisis de esfuerzos por cargas permanentes (peso propio de vigas metálicas y de la losa de concreto), transitorias (cargas vivas) y sobreimpuestas (andenes, bordillos, barandas peatonales y mixtas, carpeta rodadura).
- Análisis de los esfuerzos ocasionados por las cargas aplicadas durante las diferentes etapas del proceso constructivo del tablero (análisis evolutivo), según la siguiente secuencia de su aplicación:

- Primera Etapa: Al montar las vigas metálicas de alma llena que trabajan como sección simple (Primer chequeo).
- Segunda Etapa: A la armada de la formaleta y fundida del concreto, sigue trabajando como sección simple, y soporta las cargas de formaletas, carga viva de materiales y equipos de fundida. Factor de impacto por bombeo de concreto. (Segundo chequeo).
- Tercera Etapa: Trabaja como sección semi-compuesta, soporta las cargas sobreimpuestas (bordillos, andenes, carpeta de rodadura, barandas). (Tercer chequeo).
- Cuarta Etapa: Trabaja como sección compuesta para cargas vivas. Debe hacerse análisis de las condiciones de servicio, para controlar deflexiones y fatiga. (Cuarto chequeo).

3. ALCANCE DE LAS ESPECIFICACIONES Y FILOSOFÍA DE DISEÑO

3.1 DISPOSICIONES GENERALES

Las disposiciones de estas Especificaciones están concebidas para diseño, evaluación y rehabilitación de puentes viales tanto fijos como móviles.

Se enfatizan los conceptos de seguridad a través de la redundancia y ductilidad y de protección contra la socavación (no es del alcance de este estudio) y las colisiones.

Las disposiciones de diseño de estas Especificaciones emplean el Método de Diseño con Factores de Carga y Resistencia [LRFD - Load and Resistance Factor Design]. Los factores de mayoración de cargas y de reducción de resistencia han sido desarrollados a partir de la teoría de la confiabilidad estructural y se basan en el conocimiento estadístico actual de cargas y el desempeño estructural. Se incluyen métodos de análisis y técnicas de modelación diferentes a los contenidos en las Especificaciones anteriores, promoviendo su uso.

El comentario presente en el Código dirige la atención hacia otros documentos que proveen sugerencias para plasmar los requisitos y el objetivo de estas especificaciones. Sin embargo esos documentos y los comentarios no están concebidos como parte de estas especificaciones.

El término “debe” denota un requisito para cumplir con satisfacer estas Especificaciones.

El término “debería” indica una fuerte preferencia por el criterio dado.

El término “puede” indica un criterio que es utilizable, pero otros criterios locales y debidamente documentados, verificados, y aprobados pueden utilizarse también de una manera consistente con el enfoque del Método de Diseño con Factores de carga y resistencia [LRFD –Load and Resistance Factor Design] para el diseño de puentes.

3.2 FILOSOFÍA DE DISEÑO

Los puentes deben diseñarse para los estados límites especificados para obtener los objetivos de ser construible, seguridad y servicio.

Independientemente del tipo de análisis utilizado, la Ec.1.3.2-1 debe satisfacerse para todas las solicitaciones y combinaciones especificadas.

Todos los componentes y conexiones deberán satisfacer la siguiente ecuación para cada estado límite a menos que se especifique otra cosa.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad \text{Ec.1.3.2-1}$$

Para lo cual: $\phi \geq 0.95$

γ_i = Factor de carga (es un multiplicador obtenido estadísticamente que se aplica a los efectos de fuerza).

ϕ = Factor de resistencia (es un multiplicador obtenido estadísticamente que se aplica a los valores de resistencia nominal).

λ = Factor de resistencia que relaciona ductilidad, redundancia e importancia operativa.

n_D = Factor de ductilidad.

n_R = Factor de Redundancia.

n_I = Factor de importancia operativa.

q_i = Efectos de fuerza.

R_n = Resistencia nominal.

R_r = Resistencia factorizada.

El factor de resistencia $\phi = 1.0$ se asigna a todos los estados límites menos al estado límite de resistencia.

3.3 DUCTILIDAD

El sistema estructural del puente será proporcionado de tal forma que asegure en los estados límites de resistencia y evento extremo el desarrollo de significantes deformaciones inelásticas visibles antes de la falla.

Las estructuras de concreto en las cuales la resistencia de una conexión es mayor que 1.3 veces el efecto de la fuerza máxima impuesta sobre la conexión por la acción inelástica de los componentes adyacentes puede suponerse que los requerimientos de ductilidad están satisfechos.

Los valores n_D para el estado límite de resistencia:

$n_D = 1.05$ para componentes y secciones no dúctiles.

$n_D = 0.95$ para componentes dúctiles.

Los valores n_D para los demás estados límite:

$n_D = 1.0$

3.4 REDUNDANCIA

Aquellos elementos cuya falla causaría el colapso del puente serán diseñados en falla crítica y el sistema estructural asociado será no redundante. Alternativamente, los miembros con falla crítica en tensión pueden ser diseñados en fractura crítica. Los elementos cuya falla no se espera que produzcan el colapso del puente no se diseñarán en falla crítica y el sistema estructural asociado será redundante.

Los valores nR para el estado límite de resistencia:

$nR = 1.05$ para componentes y secciones no redundantes.

$nR = 0.95$ para componentes redundantes.

Los valores nR para los demás estados límite:

$nR = 1.0$

3.5 IMPORTANCIA OPERATIVA

Este artículo sólo aplica a los estados límites de Resistencia y Evento Extremo. El Propietario puede declarar si un puente o un componente tienen importancia operativa. En todos los casos nI estará comprendido entre los valores de 1.05 y 0.95, en función de su importancia.

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE DISEÑO

4.1 LOCALIZACIÓN

En general la localización de los puentes se define por medio de análisis de alternativas en donde se tienen en cuenta factores de ingeniería, ambientales y económicos, en la mayoría de los casos la localización del proyecto define la tipología y la sección del puente, ya que ésta debe coincidir con la sección de la vía que se encuentre construida y/o proyectada.

4.2 GEOMETRÍA DEL TABLERO

Para efectos de esta manual, la sección de la losa está conformado por un tablero de concreto apoyado sobre unas vigas metálicas de alma llena en una luz simplemente apoyada de 49.40 m de longitud, el tablero es parte de un puente del sistema de la red nacional de carreteras, y en general la sección del puente está definida por una vía nacional de primer orden de la Red Nacional de Carreteras.

4.2.1 Desarrollo de la Sección General. Normas geométricas: deben cumplirse los requisitos del Manual de diseño Geométrico de Carreteras, ver Sección 2 CCP-14 numeral 2.3.2.2.3. Sin embargo, se aclara que las geometrías de las bermas de las barreras de tráfico deberán cumplir las especificaciones del propietario, para nuestro caso se asumirá que la vía cuenta con bermas a ambos lados del puente.

Número de calzadas: normalmente definido por el cliente, para efectos de este manual se asumirá una calzada de dos carriles con bermas y andenes peatonales. Para nuestro ejemplo la calzada tendrá un ancho de 7.30 m (ver Cuadro 1), el cual estará en función de la velocidad de diseño, del tipo de terreno y de la categoría de la carretera.

Cuadro 1. Ancho de calzada

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: INVIAS. Manual de Diseño Geométrico 2008. Tabla 5-2. Cap 5 pag 151.

Velocidad de diseño: Los valores de la velocidad de diseño está en función de la categoría de la carretera y del tipo de terreno, ver Cuadro 2. Para nuestro análisis la vía se desarrolla en terreno plano, vía primaria de una calzada para la cual tenemos una velocidad de diseño mínima de 80 Km/h.

Cuadro 2. Velocidad de diseño

Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Primaria de una calzada	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Secundaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Terciaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											

Fuente: INVIAS. Manual de Diseño Geométrico 2008. Tabla 2-1 Cap 2 pag 38.

Berma: El ancho de la berma estará definido por categoría de la vía el tipo de terreno y la velocidad de diseño, (ver Cuadro 3).

Para el análisis de nuestro puente se exige una berma de 2.00 m que corresponde a una velocidad de diseño de 80 Km/h, en terreno plano y una vía primaria de una calzada, la berma se proyectará a ambos lados del puente.

Cuadro 3. Ancho de berma

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas ¹	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria ²	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

¹ Berma derecha/Berma izquierda

² Berma cuneta

Fuente: INVIAS. Manual de Diseño Geométrico 2008. Tabla 5-4 Cap 5 pag 153.

Ancho del andén: Su uso se restringe en zonas rurales debido al escaso número de peatones, el ancho de los andenes debe ser mínimo de 1.50 m para garantizar el paso de dos personas, la elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre 0.10-0.25 m, Capítulo 5.9 Manual de diseño Geométrico de Carreteras.

Bombeo de la calzada: Es la pendiente que se da a la corona de la subrasante para facilitar la escorrentía del agua superficial, esta depende del tipo de superficie de rodadura (ver Cuadro 4).

Para nuestro caso en que la superficie de rodadura es asfalto, su bombeo es del 2%.

Cuadro 4. Bombeo de la calzada

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2 – 3
Superficie de tierra o grava	2 – 4

Fuente: INVIAS. Manual de Diseño Geométrico 2008. Tabla 5-3 cap 5 pag 152.

En consecuencia, se adjunta cuadro resumen de las propiedades geométricas del puente en estudio (ver Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen características geométricas de la sección

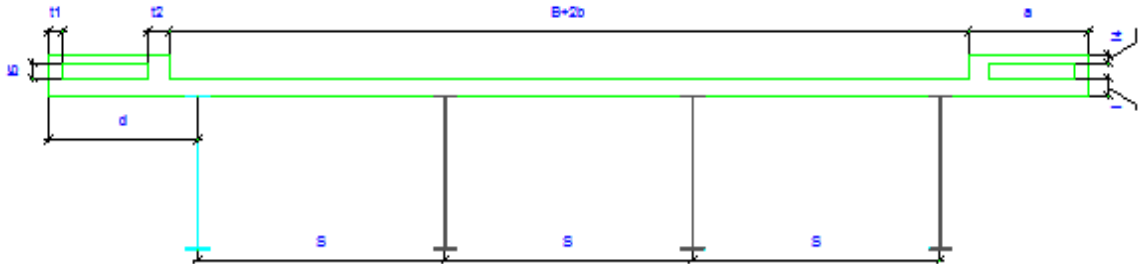
GEOMETRIA			
Elemento	Simbolo	cantidad	unidad
Puente via nacional de primer orden	S/N	S	
Longitud tablero	Lt	50,00	m
Longitud de calculo	L	49,40	m
Ancho de calzada+ berma	Bc	11,30	m
Cantidad de andenes (1/2)	Na	2,00	unidades
Ancho de andenes	Ba	1,20	m
Ancho de bordillo peatonal	Bb	0,20	m
Ancho bordillo vehicular	Bp	0,30	m
Ancho total tablero	Bp	14,70	m
Alto bordillos	Hb	0,30	m
Espesor carpeta	Tc	0,050	m
voladizo izquierdo/derecho a eje viga	Lvi	2,100	m
Recubrimiento	r	0,04	m
Altura losa en voladizo	Hv	0,20	m
Ancho del sillar	N	0,60	m
Espesor losa en borde exterior	Hib	0,20	m

Fuente: Manual de Diseño Geométrico INVIAS – 2008.

4.2.2 Luz y tipo de estructura. Definidas las necesidades del puente y las condiciones geométricas se procede a definir el tipo de estructura a desarrollar, para nuestro ejemplo se asume un puente con tablero en concreto reforzado y vigas metálicas de alma llena. (ver Figura 1)

El puente tiene una sola luz recta de diseño de 49.40 m, apoyado en sus extremos por medio de estribos de concreto reforzado (no son objeto de estudio de este manual).

Figura 1. Sección típica de la superestructura propuesta



El tablero de concreto contiene a su ancho andenes separados de la vía con barrera mixta metálica, y a cada costado se instala una baranda metálica peatonal, apoyado en cuatro vigas metálicas. Las vigas descansan sobre estribos en concreto reforzado.

Sistema viga – losa, con cuatro (4) vigas metálicas rectas de alma llena de 2.14 m de altura en el alma, separadas 3.50 m entre ejes. La altura de alma es constante y varían los elementos en espesor y dimensiones para ajustarse a las sollicitaciones de esfuerzos. Tiene 14 líneas de riostras en ángulo separadas 3.50 m. Debido a su altura las vigas están provistas en su alma de rigidizadores horizontales y verticales. El tablero de losa en concreto reforzado de 14.70 m de ancho, compuesto por una calzada de 7.30 m para dos carriles, bermas a cada lado de 2.0 m, dos andenes de 1.20 m (uno a cada costado), dos bordillos de 0.30 m para apoyo de las dos barandas metálicas vehiculares mixtas y dos bordillos de 0.20 m para soporte de las barandas peatonales.

La losa en concreto de 20 cm. reforzada en los dos sentidos con barras de acero. La losa se conecta a las vigas mediante conectores de corte vertical en canal para trabajo estructural como sección compuesta.

El tablero posee un bombeo a dos aguas del 2% y las vigas se diseñan con su cámbler o contra flecha de forma parabólica de 58.0 cm en el centro de la luz para compensar la deflexión en el tiempo y para facilitar la evacuación del agua hacia los drenajes. Los drenes del tablero en tubería PVC de 3 pulgadas cada 4.0 m.

4.2.3 Gálidos. (No son objeto de estudio). EL gálido vertical debe seguir las recomendaciones del Manual de diseño Geométrico INVIAS, se recomienda tener en cuenta la reducción del gálido de la estructura debido a asentamientos, el Gálido horizontal del puente no debe ser menor que el de la carretera que lo cruza incluyendo bermas, bordillos, cunetas y aceras.

4.2.4 Vigas. Las vigas constituyen el elemento estructural que soporta la losa de concreto reforzado, el tipo de viga a utilizar en el proyecto serán vigas metálicas de alma llena o ensambladas las cuales se fabrican con diversos miembros menores unidos por medio de soldadura (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Pre dimensionamiento vigas metálicas.

VIGAS Y RIOSTRAS				
Numero de vigas	Nv	4,00	unidades	
Altura del alma	D	2.140,00	mm	ok
Separacion vigas entre ejes	Sv	3,50	m	
Ancho patin superior	Bf	0,60	m	
Separacion riostras	Lb	3,500	m	
Altura taco	htc	0,03	m	
Longitud del voladizo a eje viga	Lvi	2,10	m	
Relacion momento V/VE	Mvi/Mve	0,94		
Relacion cortante V/VE	Vvi/Vve	1,12		

5. CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGAS

Las cargas están determinadas por el Código Colombiano de Puentes CCP-14, capítulo 3 en donde se especifican los requisitos mínimos para cargas y combinaciones de cargas usada para el diseño de puentes.

5.1 FACTORES DE CARGA

5.1.1 Cargas permanentes (CCP-14 – 3.5). Para el cálculo de las cargas se deben tener en cuenta los parámetros estipulados en el Código Colombiano de Diseño de Puentes como son:

Cargas Muertas: debidas a los elementos estructurales, no estructurales y cargas de suelo.

Cargas vivas: cargas debidas al tráfico.

Carga muerta. (CCP-14. 3.5.1)

La carga muerta debe incluir el cálculo del peso de todos los elementos estructurales y no estructurales que conforman el puente, así como se deben contemplar el peso de todos los servicios públicos adheridos, los recubrimientos de suelo, pavimentos y adicionalmente futuras ampliaciones (ver Cuadro 7).

Cuadro 7. Masas unitarias

Material	Peso Unitario	
	(kN/m ³)	
Aleaciones de Aluminio	27.5	
Pavimentos Bituminosos	22.0	
Hierro fundido	70.7	
Relleno de ceniza	9.4	
Arena, Limo o Arcilla Compactadas	18.9	
Concreto	Liviano	17.4
	De Arena Liviana	4
	Normal con $f'_c \leq 35$ MPa (5.0 ksi)	18.9
	Normal con $35 < f'_c \leq 105$ MPa	22.7
Arena, Limo o Grava Sueltas	$22.0 + 0.022 f'_c$	
Arcilla Blanda	15.7	
Grava Compactada, Macadam, o Cascajo	15.7	
Acero	22.0	
Mampostería de Piedra	76.9	
Madera	26.7	
Madera	Dura	9.4
	Blanda	7.8
Agua	Dulce	9.8
	Salada	10.0
Item	Peso por Unidad de Longitud (kN/m)	
Sistemas de rieles, Traviesas, y fijaciones por cada Riel	31.5	

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.5.1.1. Página 3-17.

Carga Viva (CCP-14 – 3.6)

- Carga viva vehicular. (CCP-14 - 3.6.1.1)

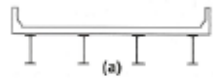
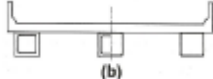
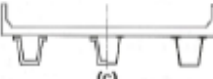
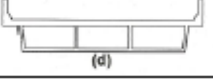
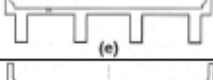
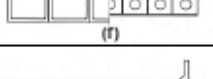
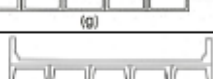
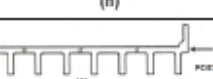
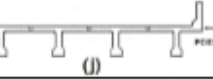

Número de carriles de diseño: El número de carriles debe determinarse tomando la parte entera de la relación $w/3600$, donde w es el ancho libre de la calzada entre bordillos y/o barreras en mm. Se debe considerar los posibles cambios futuros en forma o función del ancho de la calzada libre del puente.

Para el caso de este manual se determinará el ancho de la calzada como:

Ancho de la calzada: 7.30 m
 Ancho de la berma: 2.0 m (son dos)
 Ancho total de la calzada : 11.30 m
 Número de carriles: $\mathbf{W/3600} = 11300/3600 = 3,14$ se toma la parte entera del resultado : 3 carriles

Presencia múltiple de carga viva: Los factores de presencia múltiple se han incluido en las ecuaciones aproximadas para los factores de distribución de los Artículos 4.6.2.2 y 4.6.2.3, para uno o múltiples carriles cargados. Estos factores tienen la intención de tener en cuenta el peor de los escenarios en cuanto a cargas vivas se refiere en vigas internas, para las vigas externas los factores de distribución de carga se calculan por medio de la regla de la palanca (ver Cuadro 8)

Cuadro 8. Superestructuras cubiertas en los artículos 4.6.2.2.2 y 4.6.2.2.3

Componentes de apoyo	Tipo de tablero	Sección transversal típica
Viga de acero	Losa de concreto fundida in situ, losa de concreto prefabricada, emparrillado de acero, paneles laminados (pegados o clavados), madera prensada.	 (a)
Cajones cerrados de acero o de concreto prefabricado	Losa de concreto fundida in situ	 (b)
Cajones abiertos de acero o de concreto prefabricado	Losa de concreto fundida in situ, losa de concreto prefabricada	 (c)
Cajón multicelular de concreto fundido in situ	Concreto monolítico	 (d)
Viga T de concreto fundido in situ	Concreto monolítico	 (e)
Cajón de concreto prefabricado (macizo, aligerado o celular) con llaves de cortante	Recubrimiento de concreto fundido in situ	 (f)
Sección cajón de concreto prefabricado (macizo, aligerado o celular) con llaves de cortante, con o sin pre esfuerzo transversal	Concreto Integral	 (g)
Secciones canal de concreto prefabricado con llaves de cortante	Recubrimiento de concreto fundido in situ	 (h)
Sección doble T de concreto prefabricado con llaves de cortante y con o sin pre esfuerzo transversal	Concreto Integral	 (i)
Sección T de concreto prefabricado con llaves de cortante y con o sin pre esfuerzo transversal	Concreto vaciado in situ, o prefabricado	 (j)
Vigas de madera	Concreto fundido in situ o tablonos, paneles laminados (pegados o clavados) o madera prensada	

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Artículo 4.6.2.2.2 y 4.6.2.2.3 Sección 4 Pág 4-31.

Para el caso del que nos ocupamos, es una superestructura con vigas de acero y losa de concreto fundida In situ, para el cual se deben calcular los factores de distribución de acuerdo con el cuadro siguiente (ver Cuadros 9, 10 y 11).

Cuadro 9. Distribución de cargas vivas para el momento en vigas interiores

Tipo de superestructura	Sección transversal aplicable de la Tabla 4.6.2.2.1-1	Factores de distribución	Rango de aplicación
Tablero de madera sobre vigas de madera o de acero	(a), (l)	Ver Tabla 4.6.2.2.2a-1	
Tablero de concreto sobre vigas de madera	(l)	Un carril de diseño cargado: $S/3700$ Dos o más carriles de diseño cargados: $S/3000$	$S \leq 1800$
Tablero de concreto, emparrillado lleno, parcialmente lleno, o tablero de emparrillado no lleno compuesto por una losa de concreto reforzado sobre vigas de acero o de concreto; vigas T de concreto, secciones T y doble T	(a), (e), (k) y también (l), (j) si están suficientemente conectadas para actuar como una unidad	Un carril de diseño cargado: $0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lr_s^2}\right)^{0.1}$ Dos o más carriles de diseño cargados: $0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lr_s^2}\right)^{0.1}$	$1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq r_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_g \geq 4$ $4.1623 \times 10^9 \leq K_g \leq 2.9136 \times 10^{12}$
		Use el menor de los valores obtenidos a partir de la ecuación de arriba con $N_g = 3$ o la regla de la palanca	$N_g = 3$
Cajón multicelular de concreto fundido in situ	(d)	Un carril de diseño cargado: $\left(1.75 + \frac{S}{1100}\right) \left(\frac{300}{L}\right)^{0.35} \left(\frac{1}{N_c}\right)^{0.45}$ Dos o más carriles de diseño cargados:	$2100 \leq S \leq 4000$ $18000 \leq L \leq 73000$ $N_c \geq 3$ Si $N_c > 8$ use $N_c = 8$

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 4.6.2.2.2b-1. Sección 4 pág 4-34.

Cuadro 10. Distribución de cargas vivas para momento en vigas exteriores longitudinales

Tipo de estructura	Sección transversal aplicable de la Tabla 4.6.2.2.1-1	Un carril de diseño cargado	Dos o más carriles de diseño cargados	Rango de aplicación
Tablero de madera sobre vigas de madera o acero	(a), (l)	Regla de la palanca	Regla de la palanca	N/A
Tableros de concreto sobre vigas de madera	(l)	Regla de la palanca	Regla de la palanca	N/A
Tablero de concreto, emparrillado lleno, parcialmente lleno, o tablero de emparrillado no lleno compuesto por una losa de concreto reforzado sobre vigas de acero o de concreto; vigas T de concreto, secciones T y doble T	(a), (e), (k) y también (f), (j) si están suficientemente conectadas para actuar como una unidad	Regla de la palanca	$g = eE_{interior}$ $e = 0.77 + \frac{d_e}{2800}$	$-300 \leq d_e \leq 1700$
			Use el menor de los valores	$N_b = 3$
Cajón multicelular de concreto fundido In Situ	(d)	$g = \frac{W_e}{4300}$	$g = \frac{W_e}{4300}$	$W_e \leq S$
		O las disposiciones para un diseño de ancho completo especificado en el Artículo 4.6.2.2.1		
Tablero de concreto sobre vigas cajón de concreto esparcidas	(b), (c)	Regla de la palanca	$g = eE_{interior}$ $e = 0.97 + \frac{d_e}{8700}$	$0 \leq d_e \leq 1400$ $1800 < S \leq 5500$
			Use la regla de la palanca	$S > 5500$
Vigas cajón de concreto usadas en tableros de múltiples vigas	(f), (g)	$g = eE_{interior}$ $e = 1.125 + \frac{d_e}{9100} \geq 1.0$	$g = eE_{interior}$ $e = 1.04 + \frac{d_e}{7600} \geq 1.0$	$d_e \leq 600$
Vigas de concreto distintas a las vigas cajón usadas en tableros de múltiples vigas	(h) (f), (j) si están conectadas apenas lo suficiente para prevenir el desplazamiento vertical relativo en la interfase	Regla de la palanca	Regla de la palanca	N/A
Tablero de emparrillado abierto de acero sobre vigas de acero	(a)	Regla de la palanca	Regla de la palanca	N/A
Tablero de concreto sobre vigas cajón múltiples de acero	(b), (c)	Como se especifica en la Tabla 4.6.2.2.2b-1		

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 4.6.2.2.2d-1 Sección 4 pág 4-34.

Los factores indicados en la Tabla 3.6.1.1.2-1 se deben aplicar en conjunto con los factores aproximados de distribución de carga especificada en los Artículos 4.6.2.2 y 4.6.2.3, excepto donde se usen la regla de la palanca o donde se usen los requisitos especiales para vigas exteriores en puentes de viga y placa.

Cuadro 11. Factores de presencia múltiple

Número de Carriles Cargados	Factores de presencia Múltiple, m
1	1.20
2	1.00
3	0.85
>3	0.65

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.6.1.1.2-1. Sección 3 pág 3-19.

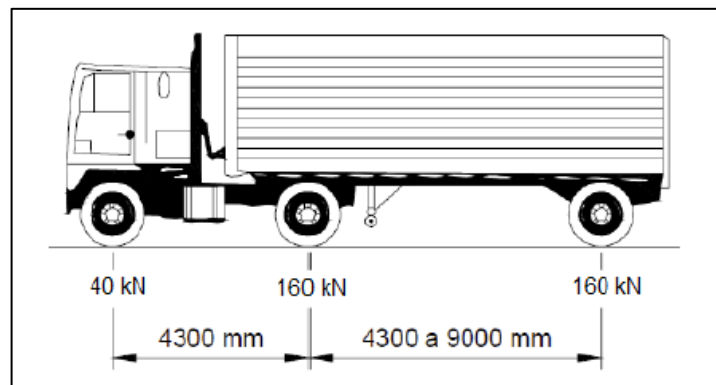
- Carga viva vehicular de diseño. (CCP-14 - 3.6.1.2)

General la carga viva vehicular en las calzadas del puente o en estructuras incidentales debe consistir en una combinación de:

- Camión o tándem de diseño, ver CCP-14. 3.6.1.2.2 y 3.6.1.2.3
- Carga de carril de diseño, ver CCP-14. 3.6.1.2.4

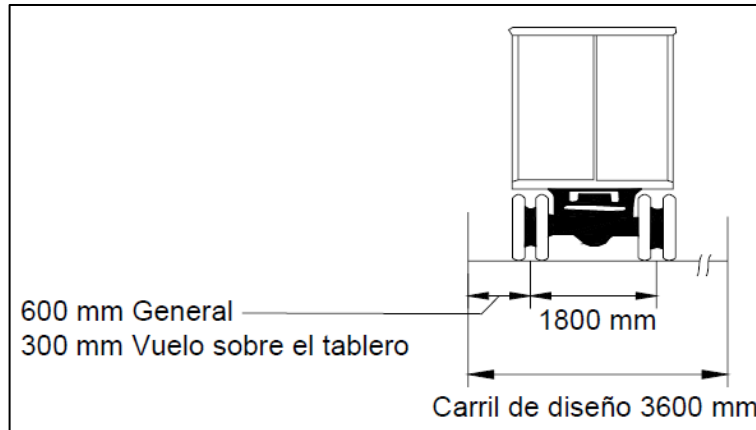
Camión de diseño. El peso y el espaciamiento de los ejes y de las ruedas para el camión de diseño se especifican en las Figuras 2,3 y 4.

Figura 2. Cargas y separación entre ejes camión de diseño



Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Figuras 3.6.1.2.2-1 Sección 3 pág 3-23.

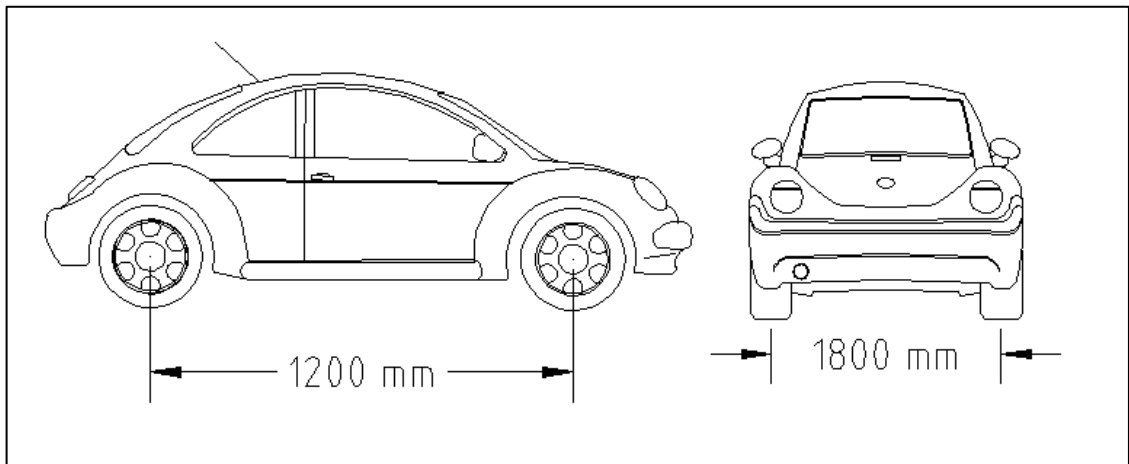
Figura 3. Separación eje transversales Camión de diseño



Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Figuras 3.6.1.2.2-1 Sección 3 pág 3-23.

Tándem de diseño. Consiste en un par de ejes de 125 KN separados 1200 mm entre sí. El espaciamiento transversal debe tomarse como 1800 mm. Debe considerarse una amplificación de carga dinámica como se especifica en el artículo 3.6.2.

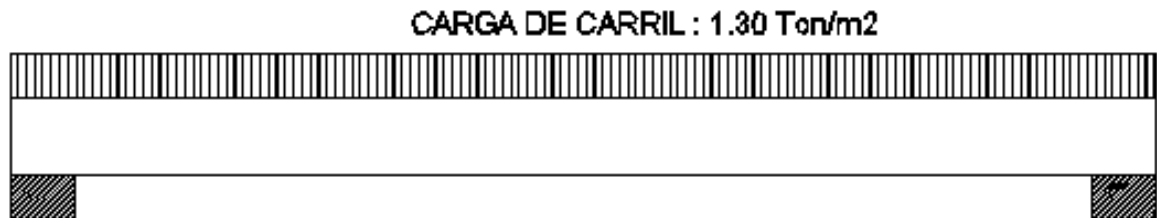
Figura 4. Esquema tándem de diseño



Fuente: Imagen web autor anónimo.

3.6.1.2.4 Carga de carril de diseño La carga de carril de diseño debe consistir en una carga de 10.3 KN/m uniformemente distribuida en la dirección longitudinal. Transversalmente, la carga de carril de diseño debe suponerse uniformemente distribuida en un ancho de 3000 mm. Las cargas de carril de diseño no deben someterse a una ampliación de carga dinámica (ver Figura 5).

Figura 5. Carga de carril



5.1.2 Aplicación de la carga vehicular (CCP-14 - 3.6.1.3). General. A menos que se especifique lo contrario, el efecto extremo se debe tomar como el mayor de la mayor de las siguientes combinaciones, solo se tendrán en cuenta las combinaciones que intervienen en el diseño de estructuras simplemente apoyadas.

- Caso 1: Tándem de diseño + Carga de carril de diseño
- Caso 2: Camión de diseño + Carga de carril de diseño

La posición de los carriles de diseño y el ancho de cargado de 3000 mm se deben colocar de manera tal que puedan producir los efectos extremos. El camión o tándem de diseño deben colocarse transversalmente de manera tal que el centro de cualquier carga de rueda no está más cerca de:

- Para diseño del voladizo del tablero 300 mm de la cara del bordillo o la barandilla, y

- Para diseño de todos los demás componentes 600 mm del borde del carril de diseño.

A menos que se especifique lo contrario, la longitud de los carriles de diseño, o de las partes que contribuyen al efecto extremo bajo consideración, se deben cargar con la carga de carril de diseño.

Carga viva para la evaluación opcional de deflexión. El criterio opcional de deflexión por carga viva se deberá tomar como la mayor de:

- La que resulta del camión de diseño solo.
- La que resulta del 25 por ciento del camión de diseño más la carga de carril

Cargas de diseño para tableros, sistemas de tableros, y para la losa superior de alcantarillas en cajón. Para nuestro caso aplicamos el método aproximado de la franja que se usa para analizar tableros y losas superiores de alcantarillas en cajón, las fuerzas se deben determinar con base en lo siguiente.

- Donde la losa trabaje principalmente en la dirección transversal, solamente se deben aplicar las cargas de ejes de camión de diseño del Artículo. 3.6.1.2.2, o del tándem de diseño del Artículo. 3.6.1.2.3.
- Donde la losa trabaje principalmente en la dirección longitudinal:
 - Para las losas superiores de alcantarillas en cajón y para todos los demás casos, incluyendo puentes de losa maciza donde el vano no exceda 4600 mm, solo se deben aplicar cargas de eje de camión de diseño o del tándem de tándem de diseño.
 - Para todos los demás casos (excluyendo la losa superior de alcantarillas en cajón) donde la luz exceda 4600 mm, se debe aplicar toda la carga especificada en el Artículo 3.6.1.2.

Carga de los voladizos del tablero para longitudes no mayores de 1800 mm medidos desde el eje de la viga exterior a la cara de una barandilla de concreto estructuralmente continua, la carga de rueda se puede reemplazar por una carga lineal uniformemente distribuida de 14.6 KN/m, localizada a 300 mm de la cara de la baranda.

Las cargas horizontales en voladizos debidas a eventos extremos deben estar de acuerdo con la Sección 13, del Código Colombiano de Diseño de Puentes.

5.1.3 Cargas de fatiga (CCP-14 - 3.6.1.4). Para la carga de fatiga se usará el camión de diseño especificado en el Artículo 3-6-1-2-2, pero la separación entre sus ejes traseros debe ser 9000 mm.

Se debe aplicar la amplificación por carga dinámica especificada en el Artículo 3.6.2.

La frecuencia de carga de fatiga debe tomarse como el Tráfico Promedio Diario de Camiones para un solo carril (TPDCUC).

Para nuestro caso se usará un TPDC = 960

5.1.4 Cargas peatonales (CCP-14 - 3.6.1.6). Debe aplicarse una carga de 3.6 KN/m² a todas las aceras de más de 600 mm de ancho considerada simultáneamente con la carga vehicular de diseño en el carril para vehículos. En puentes en donde exista la posibilidad que los vehículos invadan el andén no debe considerarse la carga peatonal, si hay posibles ampliaciones deben aplicarse las posibles cargas vehiculares a 300 mm del borde del tablero para el diseño de su proyección y a 600 mm del borde del tablero para el diseño de los demás componentes. No se debe considerar simultaneidad de la carga peatonal con la

vehicular. No se necesita considerar la amplificación por carga dinámica para vehículos.

5.1.5 Amplificación de la carga dinámica (CCP-14 - 3.6.2). Los efectos estáticos del camión o tándem de diseño diferente a fuerzas centrífugas y de frenado, deben incrementarse por el porcentaje especificado en el Cuadro 12 para amplificarlos por carga dinámica.

El factor que se aplique debe tomarse como:

$$(1 + IM/100)$$

No se debe aplicar a cargas peatonales o a la carga de carril de diseño.

Cuadro 12. Amplificación por carga dinámica

Componente	<i>IM</i>
Juntas de Tablero-Todos los Estados Límite	75%
Todos los demás componentes:	
• Estado Límite de Fatiga y Fractura	15%
• Todos los demás Estados Límite	33%

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.6.2.1-1 Sección 3 pág 3-29

5.1.6 Fuerza de frenado BR (CCP-14 - 3.6.4). Debe tomarse como la mayor de:

- 25 % de la suma de los ejes del camión de diseño o tándem de diseño
- 5% del camión de diseño + la carga de carril o 5% del tándem + carga de carril

Esta fuerza debe colocarse en todos los carriles de diseño que se consideren cargados de acuerdo con el Artículo 3.6.1.1.1 y que lleven tráfico en la misma dirección. Se debe suponer que estas fuerzas actúan horizontalmente a una

distancia de 1.8 m por encima de la superficie de la calzada en cualquier dirección para causar fuerzas extremas.

5.1.7 Fuerza de colisión vehicular CT (CCP-14 - 3.6.5). Las fuerzas de colisión contra barandas crean fuerzas que deben ser tenidas en cuenta para el diseño del voladizo de la placa.

5.1.8 Carga de viento WL Y WS (CCP-14 - 3.8). Velocidad del Viento CCP-14 – 3.8.1.1. La presión ejercida por carga de viento se debe calcular con una velocidad V_s de 160 Km/h.

La carga se debe suponer uniformemente distribuida sobre el área expuesta al viento y esta debe ser el resultado de la suma de las áreas de todos los componentes como se ven en una vista en alzado perpendicular a la dirección supuesta del viento.

Para puentes que se alcen más de 10000 mm por encima del nivel del terreno o del agua, la velocidad del viento se debe ajustar así:

$$VDZ = 2.5V_o \left(\frac{V_{30}}{V_B} \right) \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)$$

VZD: Velocidad del viento de diseño (Km/h)

V30: Velocidad del viento a 10000 mm sobre el nivel del terreno Km/h)

VB: Velocidad básica del viento de 160 Km/h a 10000 mm de altura.

Z: Altura de la estructura a la cual se calculan las cargas de viento medida desde el nivel del terreno, o desde el nivel del agua > 10000 mm

Vo: Velocidad de fricción (Km/h) (ver Cuadro 13).

Zo: Longitud de fricción del fetch o campo de viento aguas arriba (mm) (ver Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores de V_o y Z_o , para condiciones aguas arriba

Condición	Campo Abierto	Suburbano	Ciudad
V_o (km/h)	13.20	17.50	19.30
Z_o (m)	0.07	1.00	2.50

Excepto para barreras de sonido, V_{30} puede establecerse de:

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.8.1.1-1 Sección 3 pág 3-39.

Presión del Viento sobre estructuras CCP-14 – 3.8.1.2

A falta de datos la presión se puede calcular como:

$$PD = PB \left(\frac{v^2 DZ}{vB^2} \right) = PB \left(\frac{v^2 DZ}{25600} \right)$$

PB: Presión del viento básica especificada en la Tabla 3.8.1.2.1-1 (ver Cuadro 14).

Cuadro 14. Presiones básicas PB, correspondientes a $V_B=160$ Km/h

Componente de la Subestructura	Carga de Barlovento MPa	Carga de Sotavento MPa
Cerchas, Columnas, y Arcos	0.0024	0.0012
Vigas	0.0024	NA
Superficies grandes Planas	0.0019	NA

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.8.1.2.1-1. Sección 3 pág 3-39.

5.2 COMBINACIÓN DE CARGAS

Debido a que todas las cargas no actúan simultáneamente, las normas de AASHTO especifican varias combinaciones de cargas y fuerzas a las cuales debe estar sujeta la estructura (ver Cuadro 15).

A continuación, presentamos la notación para las diferentes cargas:

Cargas permanentes:

DD = Fuerza de arrastre hacia abajo.

DC = Carga muerta de componentes estructurales y no estructurales.

DW = Carga muerta de superficie de rodadura y dispositivos auxiliares.

EH = Presión de tierra horizontal.

ES = Carga superficial en el terreno.

EV = Presión vertical del relleno.

Cargas transitorias:

BR = Fuerza de frenado.

CE = Fuerza centrífuga vehicular.

CR = "Creep" del concreto.

CT = Fuerza de choque vehicular.

CV = Fuerza de choque de barcos.

EQ = Sismo.

FR = Fricción.

IC = Carga del hielo.

IM = Impacto.

LL = Carga viva vehicular.

LS = Carga viva superficial.

PL = Carga viva peatonal.

SE = Asentamiento.

SH = Contracción.

TG = Gradiente de temperatura.

TU = Temperatura uniforme.

WA = Carga de agua y presión del flujo.

WL = Carga de viento sobre la carga viva.

WS = Carga de viento sobre la estructura.

La carga total factorizada será: $Q = n \sum \gamma_i q_i$

Donde:

n = Factor de resistencia que relaciona ductilidad, redundancia e importancia operativa.

q_i = Carga especificada.

γ_i = Factores de carga especificados en la tabla 3.4.1-1 del CCP-14

Esta ecuación tendrá que ser cumplida por los estados límites siguientes:

- Resistencia I: Combinación básica de carga relacionada con el uso vehicular normal, sin considerar el viento.
- Resistencia II: Combinación de carga relacionada al uso del puente mediante vehículos de diseños especiales especificados por el propietario y/o vehículos que permiten la evaluación, sin considerar el viento.
- Resistencia III: Combinación de carga relacionada al puente expuesto al viento con una velocidad mayor a 90 Km/h.
- Resistencia IV: Combinación de carga relacionada a relaciones muy altas de la carga muerta a la carga viva.
- Resistencia V: Combinación de carga relacionada al uso vehicular normal del puente considerando el viento a una velocidad de 90 Km/h.

- Evento Extremo I: Combinación de carga incluyendo sismo.
- Evento Extremo II: Combinación de carga relacionada a la carga de viento, choque de vehículos y barcos, y ciertos eventos hidráulicos con carga viva reducida, distinta de la carga de choque vehicular.
- Servicio I: Combinación de carga relacionada al uso operativo normal del puente con viento a 90 km/h y con todas las cargas a su valor nominal (sin factorizar). También está relacionada con el control de las deflexiones.
- Servicio II: Combinación de carga considerado para controlar la fluencia de estructuras de acero y el deslizamiento de las secciones críticas, debidas a la carga viva vehicular.
- Servicio III: Combinación de carga relacionada solamente a la fuerza de tensión en estructuras de concreto pretensado, con el objetivo de controlar las grietas.

Los factores de carga para las combinaciones serán tomados del Cuadro 15, los factores serán escogidos para producir el efecto factorizado extremo total. Para cada combinación serán investigados los efectos máximos positivos y negativos. En combinaciones de carga donde el efecto de una fuerza reduce el efecto de la otra, se aplicará el mínimo valor de la fuerza reductora. De la misma manera cuando la carga permanente aumenta la estabilidad o la capacidad de carga de algún componente o todo el puente, se evaluará la posibilidad de una combinación de carga con el mínimo valor de la carga permanente.

Para el cálculo de las deformaciones será usado el mayor factor de carga TU, CR y SH, para otros cálculos se usarán los valores mínimos de factor de carga.

Cuadro 15. Combinaciones y Factores de carga

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_p	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, IM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga I II- Sólo LL, IM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 3.4.1-1. Sección 3 pág 3-14.

Fatiga: Combinación de fatiga y carga de fractura, relacionada a la carga viva vehicular repetitiva y las respuestas dinámicas bajo un camión de diseño simple con el espaciamiento entre ejes.

6. DISEÑO DE ELEMENTOS DE SECCIÓN I SOLICITADOS A FLEXIÓN

6.1 DISPOSICIONES GENERALES

Todos los miembros de sección en I solicitados a flexión se deberán diseñar de manera que satisfagan los siguientes parámetros:

- Los límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal.
- Los requisitos sobre constructibilidad.
- Los requisitos sobre estados límites de servicio.
- Los requisitos sobre estados límite de fatiga y fractura.
- Los requisitos sobre estados límites de resistencia.

6.2 SECCIONES COMPUESTAS

Las secciones consistentes en una losa de concreto, que provee acción compuesta comprobada y soporte lateral, conectada a una sección de acero mediante conectores de cortante, se define como una sección compuesta. Si la sección no cumple con estos requisitos se diseña como sección no compuesta.

En cualquier punto de la sección compuesta, el esfuerzo elástico debido a las cargas aplicadas deberá ser igual a la sumatoria de los esfuerzos provocados por las cargas aplicadas a la sección de acero, a la sección compuesta a corto plazo y la sección compuesta a largo plazo.

La filosofía de la sección compuesta es utilizar la capacidad de compresión de la losa como un aporte a la resistencia del elemento a flexión. Adicionalmente desplazar hacia arriba el eje neutro disminuyendo la altura de compresión del alma permitiendo de esta forma desarrollar la fluencia en todo el elemento compuesto, lo que se conoce como la plastificación de la viga, que unido al arriostramiento

lateral total del patín de compresión, proporcionado por la losa de concreto, se incrementa notoriamente su capacidad a flexión.

En el caso de construcciones no apuntaladas, se deberá suponer que la carga muerta aplicada antes que la losa de concreto haya fraguado, o se haya vuelto compuesta, es soportada exclusivamente por la sección de acero; también se deberá suponer que la carga muerta y la carga viva aplicadas después de esta etapa serán soportadas por la sección compuesta.

En el caso de las construcciones apuntaladas, se deberá suponer que toda la carga muerta se aplica después de que la losa de concreto ha fraguado o se ha vuelto compuesta y la documentación técnica así lo deberá especificar.

Para el caso del diseño de la superestructura de esta monografía, es una estructura no apuntalada.

6.3 PRE DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN DE ACERO (PERFIL I)

6.3.1 Altura de las vigas principales. El CCP-14 recomienda unas dimensiones en la tabla 2.5.2.6.3-1, para estimar la altura mínima de la viga. Esta relación entre la altura y la longitud de la viga tienen como objetivo prevenir las deflexiones excesivas que podrían afectar la funcionalidad de la estructura (ver Cuadro 16)

En el código CCP-14 la altura de un elemento se define como su profundidad.

Cuadro 16. Profundidades mínimas para superestructuras de alturas contantes

Superestructura		Profundidad mínima (Incluyendo el tablero) Los valores pueden ajustarse para tener en cuenta cambios en rigidez relativa de secciones de momento positivo y negativo.	
Material	Tipo	Luces simplemente apoyadas	Luces continuas
Concreto Reforzado	Losas con refuerzo principal paralelo al tráfico	$\frac{1.2(S+3000)}{30}$	$\frac{S+3000}{30} \geq 165 \text{ mm}$
	Vigas T	0.070L	0.065L
	Vigas Cajón	0.060L	0.055L
	Vigas de estructuras para peatones	0.035L	0.033L
Concreto Preesforzado	Losas	0.030L > 165 mm	0.027L > 165 mm
	Vigas cajón vaciadas <i>in situ</i>	0.045L	0.040L
	Vigas I prefabricadas	0.045L	0.040L
	Vigas de estructuras para peatones	0.033L	0.030L
	Vigas cajón adyacentes	0.030L	0.025L
Acero	Profundidad total de vigas I compuestas	0.040L	0.032L
	Profundidad de porción de acero de viga I compuesta	0.033L	0.027L
	Cerchas	0.100L	0.100L

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 2.5.2.6.3-1 Sección 2 pág 2-13.

6.3.2 Espaciamiento entre vigas. El espaciamiento entre vigas será aproximadamente 1.5 ó 2 veces la altura del perfil de acero de la viga. Los valores suelen estar entre 2.5 y 3.5 m. Asimismo, en algunos casos es conveniente hacer varias combinaciones para obtener la solución más económica.

6.3.3 límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal. Los límites se aplican a las dimensiones de las aletas a compresión o a tensión, a las dimensiones del alma y a la relación de proporciones combinadas alma-aleta de la siguiente manera:

Límites a la esbeltez del alma:

Proporciones del alma sin rigidizadores horizontales: $D/t_w \leq 150$ (6.10.2.1.1-1)

Proporciones del alma con rigidizadores horizontales: $D/t_w \leq 300$ (6.10.2.1.2-1)

El CCP-14 comenta que las almas con una relación D/t_w más grande que los valores especificados en las ecuaciones son relativamente ineficientes, son probablemente más susceptibles a fatiga inducida por distorsión, y son más susceptibles a estados límites por arrugamiento del alma y fluencia del alma.

Límites a las proporciones de las aletas en compresión y en tensión:

$$b_f/2t_f \leq 12 \quad (6.10.2.2-1)$$

$$D/b_f \leq 6 \quad (6.10.2.2-2)$$

$$t_f \geq 1,10t_w \quad (6.10.2.2-3)$$

$$0,10 < l_{yc}/l_{yt} \leq 10 \quad (6.10.2.2-4)$$

El CCP-14 comenta que la relación $b_f/2t_f$ es un límite práctico que asegura que la aleta no se distorsione excesivamente al soldarla al alma.

La relación D/b_f es un parámetro significativo que afecta la resistencia y características momento-rotación de las secciones I. Para valores mayores a 6, indican resistencias nominales a flexión y cortante relativamente bajas con respecto a los valores determinados usando estas y las anteriores Especificaciones. Limitar esta relación a 6, asegura que, si la sección a lo largo de todo el panel está dimensionada que satisfaga la ecuación 6.10.9.3.2-1

(Resistencia nominal al corte de un panel interior del alma), los paneles interiores rigidizados del alma pueden desarrollar resistencia al cortante pos pandeo, debido a la acción del campo tensionado.

La relación $T_f \geq 1.10t_w$ asegura que las aletas proporcionarán algo de restricción contra el pandeo por cortante del alma, y también que las condiciones de borde supuestas en las uniones alma-aleta en las fórmulas de pandeo por flexión del alma y pandeo local de la aleta en compresión incluidas en estos requisitos sean lo suficientemente precisas.

Una sección I, con una relación I_{yc}/I_{yt} fuera de los límites especificados en la ecuación 6.10.2.2-4, es más parecida a una sección Te con su centro de cortante ubicado en la intersección de la aleta mayor y el alma. Los límites garantizan unas proporciones más eficientes para las aletas y evita el uso de secciones que podrían ser particularmente difíciles de manipular durante las etapas constructivas. Así mismo, estos límites tienden a evitar el uso de secciones extremadamente mono simétricas en las cuales el mayor de los momentos de fluencia, M_{yc} o M_{yt} , puede ser mayor que el momento plástico, M_p . Si las aletas están compuestas por placas de igual espesor, estos límites equivalen a $b_{fc} \geq 0.46b_{ft}$ y $b_{fc} \leq 2.15b_{ft}$.

6.3.4 Chequeo para constructibilidad. El desarrollo del diseño compuesto ha llevado a una considerable reducción del tamaño de las aletas en compresión en las zonas de flexión positiva. Durante el diseño preliminar, además de las limitaciones establecidas arriba, el ancho mínimo de la aleta en compresión también se debería establecer con base en el lineamiento sobre L/b_{fc} sugerido en la siguiente ecuación:

Donde $b_{fc} \geq L/85$

C6.10.3.4.1. CCP-14

Siendo L la longitud establecida para la fundición del tablero, que en relación del tamaño de la aleta permiten a la viga soportar el armado y colocación del concreto hasta su fragüe sin presentar inconvenientes de estabilidad del perfil de acero en la etapa de construcción, tales como distorsiones fuera del plano de las aletas en compresión y el alma de las vigas.

6.4 CHEQUEOS REALIZADOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE LA SECCIÓN COMPUESTA

En el Cuadro 17 se sintetizan las diferentes y sucesivas etapas del proceso constructivo de la sección compuesta, al igual que el control de los esfuerzos actuantes, generados por las cargas mayoradas preestablecidas (permanentes, transitorias y vivas). La capacidad de resistencia de los elementos que conforman la viga y la placa, afectados por factores de reducción, posteriormente se comparan con las solicitaciones que no deben sobrepasar la capacidad de los elementos estructurales.

Cuadro 17. Control de chequeos para las etapas del proceso constructivo

item	Descripción Chequeo	Sección Simple	Sección Semi compuesta	Sección compuesta Compacta	Sección Compuesta No Compacta	Requisito CCP-14
1	Fluencia nominal de la aleta	X	X		X	6.10.8.1
2	Resistencia por pandeo local de la aleta en compresión(PLA)	X				6.10.8.2.2
3	Resistencia por pandeo local de la aleta en compresión(PLA)	X				10.8.2.3
4	Resistencia al pandeo por flexión del alma	X	X			6.10.1.9
5	Análisis con rigidizador	X	X			6.10.1.9.2 ; 6.10.11.(1,2,3)
6	Relación de Módulos de sección ó Area efectiva resistente	Sección transversal Perfil I	Area $R=Perfil I+A$ Concr/ $3n$ $n=(E_{acero}/E_{concreto})X3$	Sección transversal Perfil I+Sección Losa concreto	Area $R=Perfil I+A$ Concr/ n $n=(E_{acero}/E_{concreto})$	4.6.2.6
7	Chequeo a cortante	X		X		6.10.9.3.2-(4,5,6)
8	Desarrollo plastificación de la sección (Momento Plástico)			X		6.10.7.1.2

7. DISEÑO DE LOSAS DE TABLERO EN CONCRETO

7.1 ALTURA MÍNIMA Y RECUBRIMIENTO¹

La altura mínima para una losa de concreto debe mayor de 175 mm, sin tener en cuenta cualquier pulido, textura de la superficie.

EL recubrimiento mínimo deberá satisfacer los requisitos del Artículo 5.12.3.

7.2 ACCIÓN COMPUESTA²

Se deben diseñar conectores de cortante para la acción de sección compuesta de acuerdo con la Sección 6 y 7.

7.3 APOYO EN LOS BORDES³

El borde del tablero deberá estar reforzado o soportado por una viga u otro elemento lineal, el cual debe estar integrado o actuar de forma compuesta con el tablero. Las vigas e borde se pueden diseñar como vigas cuyo ancho se puede tomar como el ancho efectivo del tablero especificado en el Artículo 4.6.2.1.4

7.4 DISEÑO DE LOSAS EN VOLADIZO⁴

Se debe diseñar para cargas de impacto sobre las barandas de acuerdo con el Artículo 3.6.1.3.4 y se deben investigar los efectos de punzonamiento debido a cargas de colisión de vehículos en la base exterior de postes y barandas.

¹ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 9.7.1.1.

² Ibídem. Sección 9.7.1.2.

³ Ibídem. Sección 9.7.1.4.

⁴ Ibídem. Sección 9.7.1.5.

7.5 DISEÑO EMPÍRICO⁵

Se refiere a losas de tablero de concreto soportadas por componentes longitudinales, y no se deberán aplicar a ningún otro artículo de la presente sección.

7.6 APLICACIÓN⁶

El diseño empírico del presente artículo se puede utilizar solo si se satisfacen las condiciones establecidas en el Artículo 9.7.2.4.

El voladizo del tablero se debería diseñar para:

- Las cargas de llanta, en el caso de tableros con barandas y barreras discontinuas, usando el método de las franjas equivalentes.
- La carga lineal equivalente en tableros con barreras continuas se especifica en el Artículo 3.6.1.3.4
- Las cargas de colisión (o impacto), utilizando un mecanismo de falla tal como se describe en el Artículo A13.2.

7.7 LONGITUD EFECTIVA⁷

La longitud efectiva de una losa se deberá tomar como:

- Para losas construidas en forma monolítica con muros o vigas: distancia entre cara y cara.
- Para losas apoyadas entre vigas metálicas o de concreto: distancia entre las puntas de las aletas, más el vuelo de las aletas, considerado como la distancia entre la punta de la aleta hasta la cara del alma, despreciando los chaflanes.

⁵ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 9.7.2.1.

⁶ *Ibidem*. Sección 9.7.2.2.

⁷ *Ibidem*. Sección 9.7.2.3.

7.8 ARMADURA REQUERIDA ⁸

En las losas diseñadas empíricamente se deberán disponer cuatro capas de armadura isotrópica. Se deberá ubicar armadura tan próxima a las superficies exteriores como lo permitan los requisitos de recubrimiento. Se deberá proveer armadura en cada cara de la losa, con las capas más externas ubicadas en la dirección de la longitud efectiva. La mínima cantidad de aradura será de 0.570 mm²/mm de acero para cada capa inferior y de 0.380 mm²/mm de acero para cada capa superior. La separación del acero deberá ser menor o igual que 450 mm. Las armaduras deberán ser de acero Grado 420 o superior.

Estará permitido utilizar tanto traslapos como empalmes mecánicos.

⁸ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 9.7.2.3

8. SISTEMA DE APOYOS Y JUNTAS

8.1 APOYOS DE ELASTÓMERO REFORZADO CON ACERO⁹

La función de los sistemas de apoyos es transferir las fuerzas de la superestructura a la subestructura o de una superestructura a otra, permitiendo los movimientos traslacionales o rotacionales. Los apoyos deben ser capaces de resistir las cargas, absorber los movimientos, satisfacer los requerimientos de fatiga y resistir la acción de los aceites, intemperie ozono atmosférico, radiación ultravioleta y temperaturas extremas.

Los apoyos pueden ser articulado fijo o apoyo fijo o articulado móvil o apoyo móvil. El comportamiento de los apoyos se debe establecer previamente en el diseño. Sin embargo, este comportamiento previo es ideal y pocas veces se obtiene en la estructura real.

El apoyo consiste en un cojín rectangular de elastómero que tiene embebidas una o más capas de acero que trabajan en conjunto como un material suave que hace la transición entre la superestructura y la subestructura y que permite movimientos en todas las direcciones por medio de desplazamientos y rotaciones, el refuerzo de acero se usa para evitar abultamientos que originan desplazamientos y giros verticales excesivos.

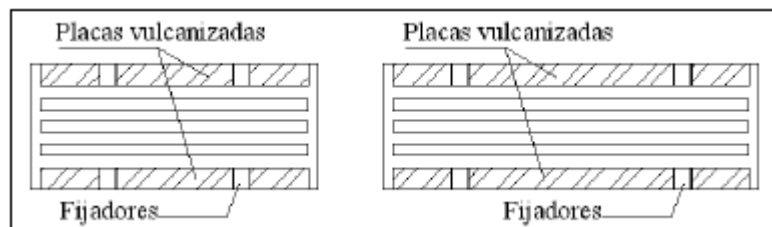
Los apoyos de elastómero reforzado pueden diseñarse usando los métodos comúnmente conocidos como Método A (14.7.5) y Método B (14.7.6), en este tipo de apoyos su diseño se tratará separadamente debido a su mayor resistencia y desempeño superior en la práctica, sin embargo, se recomienda utilizar este último dado que tiene en cuenta las deformaciones por cortante (parámetro crítico en el

⁹ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 14.7.5.

diseño de este tipo de apoyos) y proporciona un medio versátil que permite utilizar combinaciones de carga.

Los apoyos de elastómero consisten en capas alternadas de acero de refuerzo y elastómero adheridos entre sí, las capas deben ser del mismo espesor preferiblemente. Las capas de cubierta superior e inferior no deben ser más gruesas que el 70 por ciento de las capas internas.(ver Figura 6).

Figura 6. Detalle apoyo elastómero reforzado.



Fuente: SEMINARIO MANRIQUE, Ernesto. Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. Universidad de Piura. Perú. Fig 72 pág 106.

Factor de forma (CCP-14 14.7.5.1)

El factor de forma de una capa de apoyo de elastómero de sección rectangular, St debe ser el área en planta de la capa dividida por el área libre de abultarse.

$$St = \frac{LW}{2hri(L + W)}$$

Donde:

hri : Espesor de la capa i

L : Longitud de la configuración rectangular del elastómero

W : Ancho de la configuración rectangular del elastómero

8.2 TIPOS DE APOYOS

En el Cuadro 18 extraída de AASHTO (1994) LRFD Bridge Design Specifications se definen los tipos de apoyos con sus rangos de aplicación para diferentes cargas y movimientos.

Donde:

S = Aplicable.

U = No aplicable.

L = Aplicable, pero con limitaciones.

R = Podría ser aplicable, pero requiere consideraciones especiales o elementos adicionales como deslizadores o guías.

Cuadro 18. Clasificación de Elastómeros por rangos de aplicación

Tipo de apoyo	Movimiento		Rotación sobre el eje			Resistencia a cargas		
	Long	Trans	Long	Trans	Vert	Long	Trans	Vert
Cojín plano de elastómero	L	L	S	S	L	L	L	L
Cojín reforzado de fibra de vidrio	S	S	S	S	L	L	L	L
Cojín cotton duck	U	U	U	U	U	L	L	S
Elastómero reforzados con acero	S	S	S	S	L	L	L	S
Apoyos planos deslizantes	S	S	U	U	S	R	R	S
Apoyo curvo esférico deslizante	R	R	S	S	S	R	R	S
Apoyo curvo cilíndrico deslizante	R	R	U	S	U	R	R	S
Apoyo de disco	R	R	S	S	L	S	R	S
Apoyo de doble cilindro	R	R	S	S	U	R	R	S
Apoyo confinado en un recipiente	R	R	S	S	L	S	S	S
Balancines	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo con pines de nudillos	U	U	U	S	U	S	R	S
Apoyo de rodillo simple	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo de rodillos múltiples	S	U	U	U	U	U	U	S

Fuente: SEMINARIO MANRIQUE, Ernesto. Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. Universidad de Piura. Perú. Tabla 7.1 pág 105.

8.3 PROPIEDADES FÍSICAS ¹⁰

8.3.1 Módulo de cortante. El módulo de cortante del elastómero a 23° debe usarse como base para el diseño.

EL elastómero debe tener un módulo de cortante especificado entre 0.55 y 1.21 MPa. Debe cumplir con los requisitos de la sección 18.2 de las AASHTO LRFD Bridge Construction Specification y AASHTO M 251.

Criterios de aceptación AASHTO M 251 QUE SE DEBEN SEGUIR:

- Permiten una variación de ± 15 por ciento del valor especificado para el módulo de cortante de acuerdo con lo anteriormente descrito.
- No se permiten módulos de cortante menor que 0.55 MPa.

Se recomienda que para diseño se use el módulo de cortante más desfavorable de los valores descritos anteriormente.

8.3.2 Deflexión por flujo plástico. Debe obtenerse de la Tabla 14.7.6.2-1 o de ensayos realizados usando AASHTO M 251. (Ver Cuadro 19)

Cuadro 19. Propiedades Físicas de los elastómeros

	Dureza (Shore A)		
	50	60	70 ¹
Módulo de Cortante a 23°C (MPa)	0.66-0.90	0.90-1.38	1.38-2.07
Deflexión de flujo plástico a 25 años dividida por la deflexión inicial	0.25	0.35	0.45

¹ Sólo para PEP, FGP, y apoyos elastoméricos reforzados con acero con un deslizador de PTFE o equivalente encima del apoyo.

Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Tabla 14.7.6.2-1 Sección 14 pág 14-73.

¹⁰ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 14.7.5.1.

Los apoyos deben hacerse teniendo en cuenta la clasificación de baja temperatura del elastómero como se define en la sección 18 de las AASHTO LRFD Bridge Construction Specification y AASHTO M 251. El grado mínimo de elastómero requerido para cada zona de baja temperatura debe ser el que se especifica en la Tabla 14.7.5.2-1. CCP-14.

Puede usarse cualquiera de las tres opciones de diseño listadas a continuación:

- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura indicado en la tabla 14.7.5.2-1 y determinar la fuerza cortante transmitida por el apoyo como se especifica en el Artículo 14.6.3.1
- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura para usarse cuando se incorporan en el diseño disposiciones especiales de fuerza y proveer una superficie deslizante de baja fricción, en cuyo caso los componentes del puente debe diseñarse para aguantar dos veces la fuerza de cortante de diseño especificada en el Artículo 14.6.3.1.
- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura para usarse cuando se incorporan en el diseño disposiciones especiales de fuerza, pero no se provee de superficie deslizante de baja fricción, en cuyo caso los componentes del puente deben diseñarse para resistir cuatro veces la fuerza de cortante de diseño como se especifica en el Artículo 14.6.3.1.

Requisitos de diseño CCP-14 14.7.5.3

Deformaciones de cortante CCP-14 14.7.5.3.2

El desplazamiento máximo horizontal Δ_o : está limitado al 65 por ciento del intervalo de movimiento térmico de diseño, ΔT , calculado de acuerdo con el artículo 3.12.2, en combinación con los movimientos causados por flujo plástico, retracción y postensado.

Deformación máxima en el apoyo Δ_s : en el estado límite de servicio se debe tomar como Δ_o modificada para tener en cuenta la rigidez de la infraestructura y los procedimientos de construcción. Si se instala una superficie deslizante de baja fricción, Δ_s no debe tomarse mayor que la deformación correspondiente al primer deslizamiento.

$$h_{rt} \geq 2 \Delta_s$$

H_{rt}: espesor total de elastómero (mm)

Δ_s : deformación máxima total de cortante del elastómero.

8.3.3 Compresión, Rotación y Cortante Combinadas.¹¹

$$(\gamma_{a, st} + \gamma_{r, st} + \gamma_{s, st}) + 1.75(\gamma_{a, cy} + \gamma_{r, cy} + \gamma_{s, cy}) \leq 5.0$$

Se debe satisfacer:

$$\gamma_{a, st} \leq 3.0$$

Donde:

Y_a: Deformación de cortante causada por carga axial

Y_r: Deformación de cortante causada por rotación

Y_s: Deformación de cortante causada por desplazamiento de cortante

Los subíndices “st” y “cy” indican carga de tráfico estática y cíclica respectivamente. En apoyos rectangulares, las deformaciones de cortante deben evaluarse para rotación alrededor del eje paralelo al eje transversal del puente. Debe considerarse también la evaluación de deformaciones de cortante por rotación alrededor del eje paralelo al eje longitudinal del puente.

¹¹ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Sección 14.7.5.3.3.

Las deformaciones deben establecerse por medio del análisis racional, a menos que las siguientes aproximaciones sean aceptables.

8.3.4 Deformación por carga axial.

$$(\gamma a) = Da \frac{\sigma_s}{G S_i} \quad (14.7.5.3.3-3) \text{ CCP-14}$$

En la cual para un apoyo rectangular se debe tomar:

Da =1.4, coeficiente adimensional usado para determinar la deformación de cortante debida a carga axial.

G: Modulo de cortante elastómero (MPa)

Si: factor de forma de la i-ésima capa interna de un apoyo elastómero

os: Esfuerzo promedio de compresión debido a carga total estática o cíclica de las combinaciones de servicio

8.3.5 Deformación de cortante debida a la rotación. Para un apoyo debe tomarse:

$$(\gamma r) = Dr \left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2 \frac{\theta_s}{n} \quad (14.7.5.3.3-6) \text{ CCP-14}$$

En la cual el valor Dr = 0.5

Dr: coeficiente adimensional usado para determinar la deformación de cortante debido a la rotación

hri: espesor de la i-ésima capa interna de elastómero

L: dimensión en planta del apoyo perpendicular al eje de la rotación bajo estudio generalmente paralela al eje global longitudinal del puente en mm.

N: número de capas inferiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas que están adheridas por ambas caras. Las capas exteriores son aquellas que están adheridas por una sola cara. Cuando el espesor de la capa exterior de elastómero es mayor o igual a la mitad del espesor de una

capa interior, el parámetro, n, se puede aumentar el 50 por ciento para dicha capa exterior.

Θ_s : ángulo máximo de rotación de diseño estático o cíclico en el estado límite de servicio del elastómero especificado en Artículo (rad)

8.3.6 Deformación unitaria de cortante debida a la deformación de cortante.

$$(\gamma_s) = \frac{\Delta s}{hrt} \quad (14.7.5.3.3-10) \text{ CCP-14}$$

Donde:

hrt: Espesor total del elastómero (mm)

Δs : deformación máxima de cortante total estática o cíclica del elastómero de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la tabla- (mm)

8.3.7 Estabilidad de apoyos elastoméricos. Los apoyos deben satisfacer $2A \leq B$ (14.7.5.3.4-1) CCP-14

En el cual:

$$A = \frac{1.92 \frac{hrt}{L}}{\sqrt{(1 + \frac{2.0 L}{W})}} \quad (14.7.5.3.4-2) \text{ CCP-14}$$

$$= \frac{B}{2.67 (S_i + 2.0) (1 + \frac{L}{4.0W})} \quad (14.7.5.3.4-3) \text{ CCP-14}$$

Donde:

G: Módulo de cortante elastómero (MPa)

hrt: Espesor total del elastómero (mm)

L: Longitud de la configuración rectangular del elastómero

W: Ancho de la configuración rectangular del elastómero

Si: Factor de forma de la i-ésima capa interna del apoyo elastomérico

Para un apoyo rectangular en el cual L es mayor que W se debe investigar la estabilidad intercambiando L y W

Los apoyos que satisfagan la ecuación 14.7.5.3.4-1 deben considerarse estables y no se requiere más investigación al respecto.

8.3.8 Refuerzo. El espesor mínimo del acero de refuerzo de refuerzo h_s , debe ser 1.5 mm, el espesor de refuerzo debe satisfacer:

En el estado de límite de servicio:

$$h_s \leq \frac{3hri\sigma_s}{r} \quad 14.7.5.3.5-1 \quad \text{CCP-14}$$

En el estado de límite de fatiga:

$$h_s < \frac{2hri\sigma_L}{r} \quad 14.7.5.3.5-2 \quad \text{CCP-14}$$

ΔFTH : Umbral de fatiga de amplitud constante para categoría A (MPa)

hri: espesor de la i-ésima capa interna de elastómero

σ_L : Esfuerzo promedio de compresión estado límite de servicio(MPa)

σ_S : Esfuerzo promedio de compresión debido a carga total de las combinaciones de carga de servicio (MPa)

Fy: Resistencia de fluencia del acero (MPa)

8.3.9 Deflexiones de compresión. Las deflexiones de los apoyos elastoméricos deben considerarse por separado para carga muerta y carga viva instantánea sola. Las cargas deben estar en el estado límite de servicio con todos los factores iguales a 1.0.

8.4 DISEÑO Y ANÁLISIS DE APOYOS DE ELASTÓMERO

El CCP-14 especifica que los apoyos deben satisfacer los criterios de diseño bajo cargas de servicio sin impacto.

La altura del elastómero, h_{rt} no debe ser menor que dos veces la máxima deformación cortante, Δs , para prevenir el levantamiento y la desplastificación de los bordes.

El factor de forma del elastómero podrá ser estimado como:

- $S_i = L W / 2 h_{ri}(L+W)$

Donde:

h_{ri} = Espesor de la capa i .

L = Longitud de la configuración rectangular.

W = Ancho de la configuración rectangular.

Asimismo, CCP-14 también regula los esfuerzos de compresión por medio de las siguientes expresiones:

- $\sigma_s \leq 1.66 GS$

- $\sigma_s \leq 11.0 \text{ MPa}$

- $\sigma_L \leq 0.66 GS$

Donde:

σ_s = Esfuerzo de compresión promedio debido a la carga total (MPa).

σ_L = Esfuerzo de compresión promedio debido sólo a la carga viva (MPa).

G = Módulo de corte del elastómero (MPa).

Además, para estimar las deflexiones en los elastómeros se puede hacer uso de los gráficos esfuerzo deformación, que dependen de la dureza del material y del factor de forma.

Para apoyos sujetos a compresión y rotación combinada deberán ser diseñados para evitar cualquier levantamiento o esfuerzos de compresión excesivos. El levantamiento para elastómeros rectangulares se puede garantizar si se cumple:

$$\sigma_S > \sigma_{upmin} = 1.0 GS \left(\frac{\theta_S}{n} \right) \left(\frac{B}{h_{ri}} \right)^2$$

Donde:

θ_S = Rotación de diseño.

n = Número de capas interiores.

B = Longitud en la dirección de la rotación.

G = Módulo de corte. (Usar el valor máximo para el criterio de levantamiento).

El requerimiento de para evitar esfuerzos excesivos de compresión en apoyos sujetos a deformaciones cortantes se expresa en la siguiente condición:

$$\sigma_S > \sigma_{Cmax} = 1.875 GS \left[1 - 0.20 \left(\frac{\theta_S}{n} \right) \left(\frac{B}{h_{ri}} \right)^2 \right]$$

Donde:

G = Módulo de corte. Se debe usar el valor mínimo para el criterio de cortante.

Además, se debe asegurar la estabilidad de los apoyos bajo la combinación de cargas del estado límite de servicio. Esto se logra limitando el esfuerzo de

compresión promedio que para puentes con losa libres de trasladarse horizontalmente es:

$$\sigma_S \leq \sigma_{Cr} = \frac{G}{2A-B}$$

Donde:

$$A = \frac{1.92 \frac{h_{rt}}{L}}{S \sqrt{(1 + \frac{2.0L}{W})}} \quad (14.7.5.3.4-2) \text{ CCP-14}$$

$$B = \frac{2.67}{S(S + 2.0)(1 + \frac{L}{4.0W})} \quad (14.7.5.3.4-3) \text{ CCP-14}$$

El reforzamiento deberá soportar los esfuerzos de tensión producidos por la compresión en el apoyo. Entonces el espesor de las placas de acero h_s podrá estimarse por las siguientes expresiones:

Estado límite de servicio:

$$h_s \geq \frac{3h_{max} \sigma_s}{F_y}$$

Estado límite de fatiga:

$$h_s \geq \frac{2h_{max} \sigma_L}{\Delta FTH}$$

$h_{m\acute{a}x}$ = Máximo valor de los hri:

F_y = Esfuerzo de fluencia del refuerzo, usualmente = 345 MPa.

ΔF_{TH} = Esfuerzo de fatiga, usualmente para superficies lisas sin uniones=165 MPa.

Para el diseño de otro tipo de apoyos se debe consultar las especificaciones de AASHTO (1996). Standard Specifications for Highway Bridges.

8.5 SISTEMAS DE JUNTAS

8.5.1 Función de las juntas. La función de las juntas es resistir las cargas externas y proveer seguridad al tránsito sobre la brecha entre el puente y el estribo o entre dos puentes de manera que todo el puente pueda desplazarse sin causar grandes esfuerzos. Al mismo tiempo, las juntas de expansión deben proveer una transición suave entre el puente y las áreas adyacentes.

Para lograr estos objetivos, las juntas de expansión deberán ser robustas y adecuadas para todas las cargas o acciones locales como las condiciones climáticas, humedad o agentes corrosivos. Además, el reemplazo de todas las partes usadas debería ser posible de una manera sencilla.

Los movimientos en las juntas de expansión dependen del tipo de puente y de la configuración de los apoyos. Normalmente, estos movimientos resultan de la temperatura, desplazamientos debidos a cargas externas, creep y shrinkage.

En general, las juntas de expansión deberían cumplir los siguientes requerimientos:

- Capacidad de movimiento.
- Resistencia de cargas estáticas y dinámicas.
- Hermeticidad
- Niveles bajos de ruido.
- Seguridad de tráfico.

8.5.2 Recomendaciones para juntas. A continuación, presentamos algunas recomendaciones hechas por Günter Ramberger (2002) para satisfacer los requerimientos de juntas.

Es importante conocer que para cumplir con los requisitos de juntas se debe evitar pendientes mayores al 3%, así como diferencias de niveles mayores a 8 mm entre las superficies unidas. Del mismo modo no recomienda juntas mayores a 60mm.

Para puentes con movimientos pequeños hasta 15 mm es posible construir carpetas asfálticas continuas soportadas sobre placas, sobre la brecha. En caso de movimientos mayores a 10mm se recomienda una placa de elastómero en vez de la placa de acero.

Para movimientos mayores hasta 25 mm es posible mediante asfaltos especiales construir juntas asfálticas. Sin embargo, este tipo de juntas suelen tener poca duración y generalmente son usadas para construcciones temporales.

Para movimientos mayores de 25 a 80 mm se puede lograr juntas por medio de elementos sellantes. El elemento de sello puede ser reemplazado por un cojinete en caso de requerir absorber deformaciones cortantes. Adicionalmente recomienda una cinta de Sika PVC a 20 cm de profundidad para evitar el escurrimiento del asfalto.

Para junta de dilatación con bordes metálicos, este tipo de junta tiene la variante de usar platinas metálicas dentadas debidamente ancladas en lugar de los ángulos. En la actualidad, existen muchos tipos de juntas con sus ventajas y desventajas.

9. OBRAS COMPLEMENTARIAS

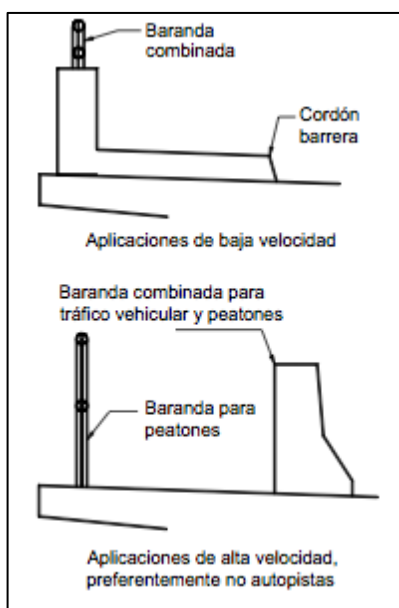
9.1 BARANDAS

Esta sección se aplica a las barandas para puentes nuevos y puentes rehabilitados cuando se determina que el reemplazo de las barandas se hace necesario.

A lo largo de los bordes del puente se deberán proveer barandas para proteger al tráfico y a los peatones tanto como resulte práctico.

Un andén peatonal puede estar separado de la calzada mediante un bordillo, una baranda para tráfico vehicular o una baranda combinada, tal como se indica en la Figura 7

Figura 7. Andenes peatonales



Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 13.4-1 Sección 13 pág 13-4.

9.1.1 Estado límite y factores de resistencia.

Estado límite de resistencia (CCP-14 – 13.6.1). Los estados límites se deben aplicar utilizando las combinaciones de carga aplicables indicadas en la Tabla 3.4-1 y cargas especificadas en el Artículo 13.6.

Las cargas de diseño se especifican en el Artículo 13.8.2, las cargas de diseño para barandas de ciclistas se especifican en el Artículo 13.9.3. Para barandas combinadas se deben aplicar las cargas correspondientes a barandas peatonales o para ciclistas como se especifica en el Artículo 13.10.3

Estado límite de evento extremo (CCP-14 – 13.6.2). Las fuerzas que la baranda del puente transmite al tablero se pueden determinar mediante un análisis de la resistencia última del sistema utilizando las cargas indicadas en el apéndice A.

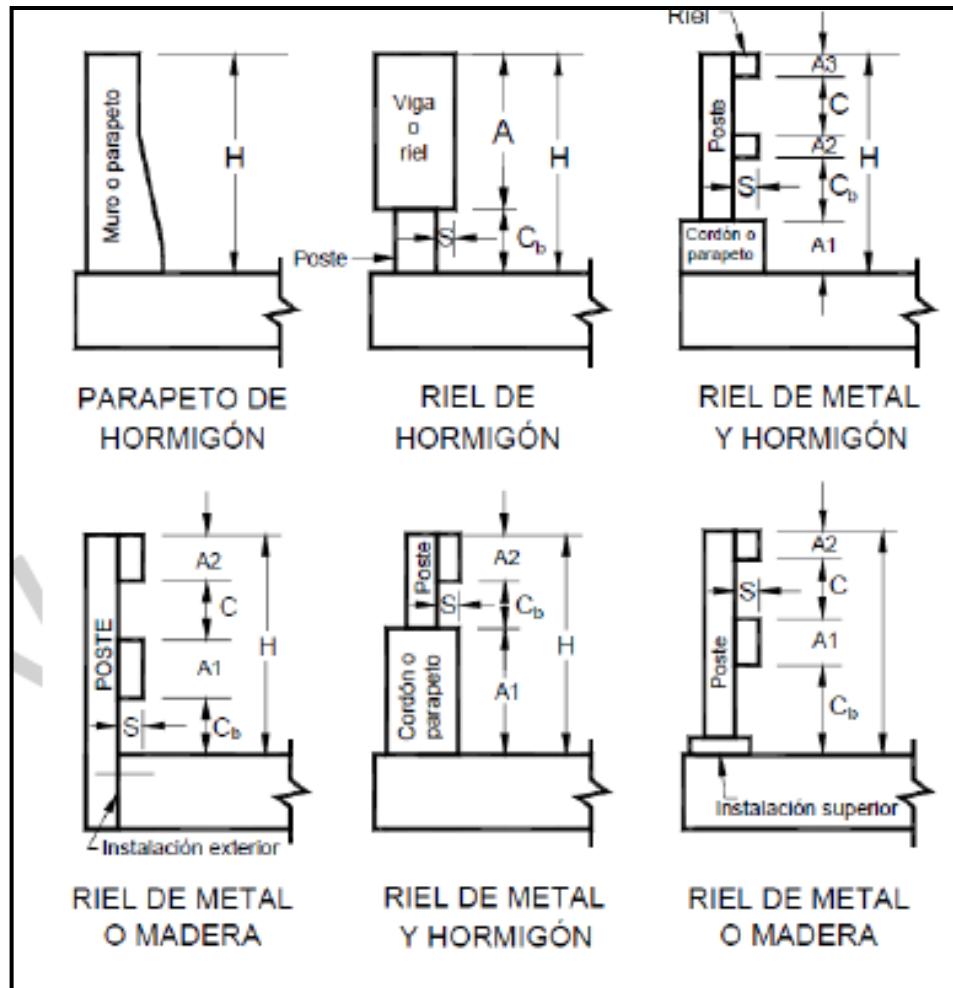
9.2 BARANDAS DE TRÁFICO

Se debe considerar lo siguiente:

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

Los esquemas de las barandas típicas de tráfico se muestran en la Figura 8.

Figura 8. barandas típicas de tráfico



Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla A,13.1.1-1 Sección 13 pág 13-14.

9.3 BARANDAS PEATONALES

La mínima altura de las barandas para peatones deberá ser de 42 pulgadas, medida de la cara superior del andén.

La apertura libre entre elementos deberá ser tal que no permita el paso de una esfera de 6 pulgadas de diámetro.

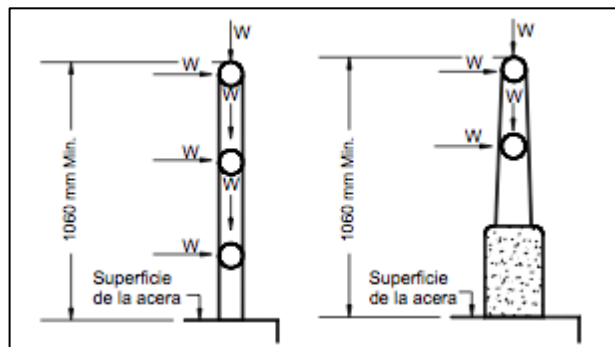
Si se utilizan elementos horizontales como verticales, la abertura libre de 6 pulgadas se deberá aplicar a las 27 pulgadas inferiores de la baranda, mientras que la separación en la parte superior deberá ser tal que no permita el paso de una esfera de 8 pulgadas de diámetro.

Se debe proveer un guardapiés o un bordillo a nivel de la superficie de rodamiento

Cargas vivas de diseño (CCP-14 – 13.8.2)

La carga viva de diseño se debe tomar como $W = 0.05 \text{ Klf}$, tanto transversal como vertical actuando en forma simultánea. (Ver Figura 9)

Figura 9. Cargas que actúan sobre las barandas para peatones



Fuente: MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015. Tabla 13.8.2-1 Sección 13 pág 13-11.

9.4 BORDILLOS Y ANDENES

Andenes CCP-14 – 13.11.2

Si se requiere un bordillo la altura de este no debe ser menor de 6 pulgadas. Se debe hacer transición si la altura del bordillo difiere del bordillo a la salida del puente.

Separación de las barandas en los extremos CCP-14 – 13.11.3

El tratamiento de los extremos de cualquier baranda debe satisfacer los requisitos en las secciones 13.7.1.2 y 13.7.1.3.

9.5 BERMAS

En general, los puentes deberían mantener la misma sección transversal del tramo de carretera donde se encuentre ubicado. Dicha sección también comprende las bermas.

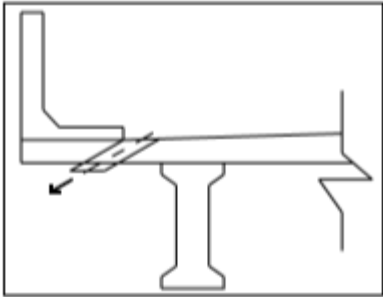
9.6 ELEMENTOS DE CAPTACIÓN

Para eliminar rápidamente las descargas de aguas pluviales se pueden considerar el uso de elementos de captación. Estos elementos serán colocados preferentemente cerca de los bordes exteriores de la vía de tráfico. Su espaciamiento estará en función de la descarga de agua pluvial esperada.

El CCP-14 los considera adecuados en el caso de puentes susceptibles a descargas directas elevadas. Además, especifica que se debe considerar en el diseño medidas de protección contra la corrosión y las manchas ferruginosas, si se utilizan tubos o dispositivos de fijación metálicos.

Se recomienda colocar drenes de 10 cm diámetro de material PVC al lado de los bordillos a cada lado con una separación de 4 m como máximo, estos bajantes deben tener una longitud tal que eviten que el agua de escorrentía tenga contacto con los perfiles I de las vigas de la sección compuesta. (Ver Figura 10)

Figura 10. Esquema de elementos de drenaje



Fuente: Imagen web autor anónimo

10. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE

10.1 ESTRUCTURACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE EN SECCIÓN COMPUESTA CON VIGAS DE ALMA LLENA

El siguiente paso es diseñar un sistema de carga y resistencia para el puente. En nuestro caso, este sistema estará conformado por una losa, barandas, vigas longitudinales, riostras, apoyos y juntas (ver anexos A,B,C).

Para la luz libre de cálculo de 49.60 m (distancia entre centros de luz de los apoyos) se decidió optar por un puente simplemente apoyado con vigas longitudinales. La losa será de concreto reforzado y se apoyará sobre las vigas longitudinales. La resistencia del concreto será de 28 MPa (280 kg/cm²). La resistencia a la fluencia del acero del perfil I para vigas es de 345 Mpa (3450 kg/cm²). (Ver anexos D,E,F,G,H,I,J,K,L y P).

Para el diseño de las barandas del puente se eligió un modelo standard metálico que cumple con las especificaciones de altura y resistencia de AASHTO, e incluidas en el CCP-14.(Ver anexos N,O).

Las vigas longitudinales principales serán vigas I de acero y estarán soportadas en el sistema de apoyos. Estas vigas de acero son más económicas que las vigas de concreto reforzado o postensadas.

El sistema de juntas y apoyos permitirá los desplazamientos longitudinales de la superestructura. Asimismo, los apoyos transmitirán las cargas de la superestructura a los estribos. (Ver anexo M).

11. CONCLUSIONES

Los capítulos contenidos entre los numerales del 4 al 8 tratan de ilustrar de manera detallada el proceso de diseño de puentes con vigas y losa de acuerdo a la normatividad vigente en el Código Colombiano de Construcción de Puentes. En los capítulos 1 al 3, se exponen de manera rápida algunas de las consideraciones preliminares necesarias para el estudio del proyecto del puente. En cada capítulo se ha presentado el soporte teórico que el CCP-14 contiene para cada elemento diseñado y con las recomendaciones, soluciones y alternativas que a manera de comentario se incluyen en el Código para problemas comunes que se presentan en el diseño de puentes. En el capítulo 9 se diseñan las obras complementarias tales como las barandas peatonales y de tráfico, los bordillos y andenes.

Del estudio de esta monografía se puede concluir que el Código Colombiano de Puentes 2014 -CCP-14 es una adaptación de AASHTO – Standard Specifications for Highway Bridges. Asimismo, se puede decir que la norma colombiana contiene las principales especificaciones necesarias para el diseño de los puentes más comunes.

Asimismo, como se observa en el Código Colombiano de Puentes los valores de los factores de carga y resistencia son los mismos de AASHTO. Debe aclararse que las derivaciones estadísticas son diferentes de las condiciones de nuestra realidad, pero esto puede mitigarse si se hace un mayor control de las cargas y de los procesos constructivos de los puentes, con la finalidad de no sobrepasar las condiciones del diseño.

Finalmente, el sistema de la superestructura en sección compuesta, con un diseño basado en el Código Colombiano de Puentes, debe generar un puente eficiente y seguro en condiciones económicas que compitan con los otros sistemas de

superestructura de placa en concreto soportada en vigas de concreto reforzado o en vigas de concreto postensadas.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). Manual de Diseño Geométrico – Metodología para diseño y análisis de puentes. - 2008

MINISTERIO DEL TRANSPORTE. CCP – 14 - Código Colombiano de Construcciones y Puentes. Resolución 108 del 26 de enero de 2015

SEMINARIO MANRIQUE, Ernesto – “Guía para el diseño de puentes con vigas y losas” – Universidad de Piura – febrero de 2014 – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Civil. Perú.

STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES FROM AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS) – 2012.