

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	CONCEPCIÓN DE PUENTES VEHICULARES DE CARRETERAS. BASES- CRITERIOS-FUNDAMENTOS.....	2
2.1	INTRODUCCIÓN	2
2.2	BASES, FUNDAMENTOS Y CRITERIOS PRINCIPALES	4
2.2.1	Propósitos del diseño	5
2.2.1.1	Seguridad estructural	6
2.2.1.2	Utilidad	9
2.2.1.3	Constructibilidad.....	12
2.2.1.4	Economía	12
2.2.1.5	Estética.....	12
2.2.2	Diseño geométrico.....	12
2.2.2.1	Diseño en planta	17
2.2.2.2	Perfil longitudinal de la carretera	28
2.2.2.3	Sección transversal	31
2.2.2.5	Gálibos	33
2.2.2.6	Consistencias del diseño geométrico.....	35
2.2.3	Hidrología e hidráulica	36
2.2.3.1	Datos del sitio.....	37
2.2.3.2	Análisis hidrológico	40
2.2.3.3	Análisis hidráulico.....	40
2.2.3.4	Cimentaciones y remoción de masa	41
2.2.3.5	Disposiciones del sitio del puente	41
2.3	REFERENCIAS.....	42

1. INTRODUCCIÓN

2. CONCEPCIÓN DE PUENTES VEHICULARES DE CARRETERAS. BASES-CRITERIOS-FUNDAMENTOS

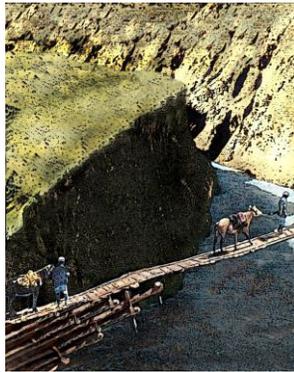
2.1 Introducción

Para la concepción de la estructura de un puente es necesario conocer las diferentes variables que intervienen para su diseño, que debidamente integradas o relacionada permiten definir la mejor alternativa garantizando un beneficio - costo.

Adicionalmente es importante tener noción de sus antecedentes (historia), para lo cual en el tomo 1 del presente libro, se hace una breve reseña historia donde se describen las primeras obras de estructuras de puentes construidas en el mundo en madera y después en piedra. Este segundo material ofreció mejores resultados en cuanto a su durabilidad y su uso se remonta a los planes del Imperio Romano para la conducción del agua (acueductos) y la generación de vías para la movilización de las columnas de legionarios. Este Imperio construyó alrededor de 2.000 puentes, distribuidos en las zonas del mundo que dominó y de los cuales han perdurado algunos, tomados como ejemplos para la ingeniería actual.

Para poder construir puentes con mayores luces se hizo necesaria la utilización del acero, el cual se combinó con los cables, que reemplazaron el uso de cuerdas de cáñamo, elaboradas con fibras naturales especialmente en China y el Tíbet. Además de emplear madera, piedra y acero para la construcción de estos puentes, los ingenieros se idearon el hormigón armado, el cual se empleó después de diferentes pruebas y procesos de investigación y verificación con los conocimientos y recursos de la época. Su uso se basó en que las armaduras de acero tienen la función de soportar los esfuerzos de tracción y el hormigón los esfuerzos de compresión. Posteriormente apareció el concreto preesforzado, cuyo precursor fue el ingeniero francés Eugene Freyssinet, quien en 1911 logró demostrar las ventajas de esta técnica para la construcción de los puentes, con la cual se realizaron estructuras con mayores luces comparadas con las de hormigón armado.

Algo similar se presentó en Colombia, donde existen algunos registros de los primeros puentes y no se sabe exactamente si fueron construidos por los indígenas (Muiscas, Chibchas, entre otros), los españoles o en conjunto. Estas estructuras lograron en su momento solucionar el paso de algunos obstáculos y se concibieron empleando materiales de la zona, tales como: guadua, madera, bejuco, entre otras (Cadavid et al., 2004). Después se realizaron puentes en arco en ladrillo o piedra, acero, concreto reforzado, preesforzado. A partir del uso de cada uno de estos materiales, la ingeniería en diferentes épocas se ideó diversas tipologías, las cuales se describen en capítulo 2 del tomo 1 del presente libro, tales como: armaduras, arcos, voladizos sucesivos, colgantes y atirantados.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 2 - 1 . (A) Uno de los tipos de puente en madera que comunicó pueblos en el mundo y que superó obstáculos importantes.(B) . Foto del Departamento de la American Colony (Jerusalem) (1938).Acueducto Romano que una vez llevó agua a Cesarea. (C) Norman, James (2000). Puente Long-Allen Texas (D) Vista general, mirando hacia el norte del puente Golden Gate Bridge, que abarca la boca de la bahía de San Francisco, San Francisco. (E). Lowe, Jet (1978). Puente de arco en hormigón - Cleveland del condado de Cuyahoga – Estados Unidos. Fuentes: Especificadas en el tom1 del presente libro

Son obras fundamentales en la infraestructura vial, destinadas a salvar tanto obstáculos naturales: ríos, valles, lagos, cañones o brazos de mar, como obstáculos artificiales: vías férreas y carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros y propiciar el transporte de animales y mercancías (Véase (Muñoz, 2012)).

El ingeniero Hans Wittfoth, sintetiza la importancia de estas estructuras con la siguiente frase: *“Desde que el hombre habita este mundo, los puentes son la expresión de su voluntad de superar los obstáculos que encuentra en el camino hacia su objetivo. Los puentes son testimonio del progreso, poder y decadencia; nos habla de la cultura de los pueblos y de su mentalidad”* (Véase (Wittfoth, 1975)), con ella expresa la relevancia de los puentes a lo largo de la historia y su indudable relación con el desarrollo de las naciones; por ello mismo, resultan fundamentales todos los trabajos de innovación y desarrollo relacionados con su conservación.

2.2 Bases, fundamentos y criterios principales

Las variables principales que intervienen en la concepción y definición de un puente vehicular se indican en el flujograma de la Figura 2-1, las cuales se basan en la experiencia adquirida durante varios años, por ser una de las obras indispensables de la infraestructura vial que conectadas con las demás(carreteras, pavimentos, etc) han permitido la comunicación entre los pueblos. Estas experiencias han venido siendo parte de las diferentes normas en el mundo paralelamente con los avances científicos y tecnológicos de las áreas relacionadas con la ingeniería de puentes. Por ello, hacen parte de la norma nacional (CCP-14(INVIAS), 2014), como también de otros en documentos relacionados como el manual de diseño geométrico de carreteras(Instituto Nacional de Vías, 2008), entre otros.

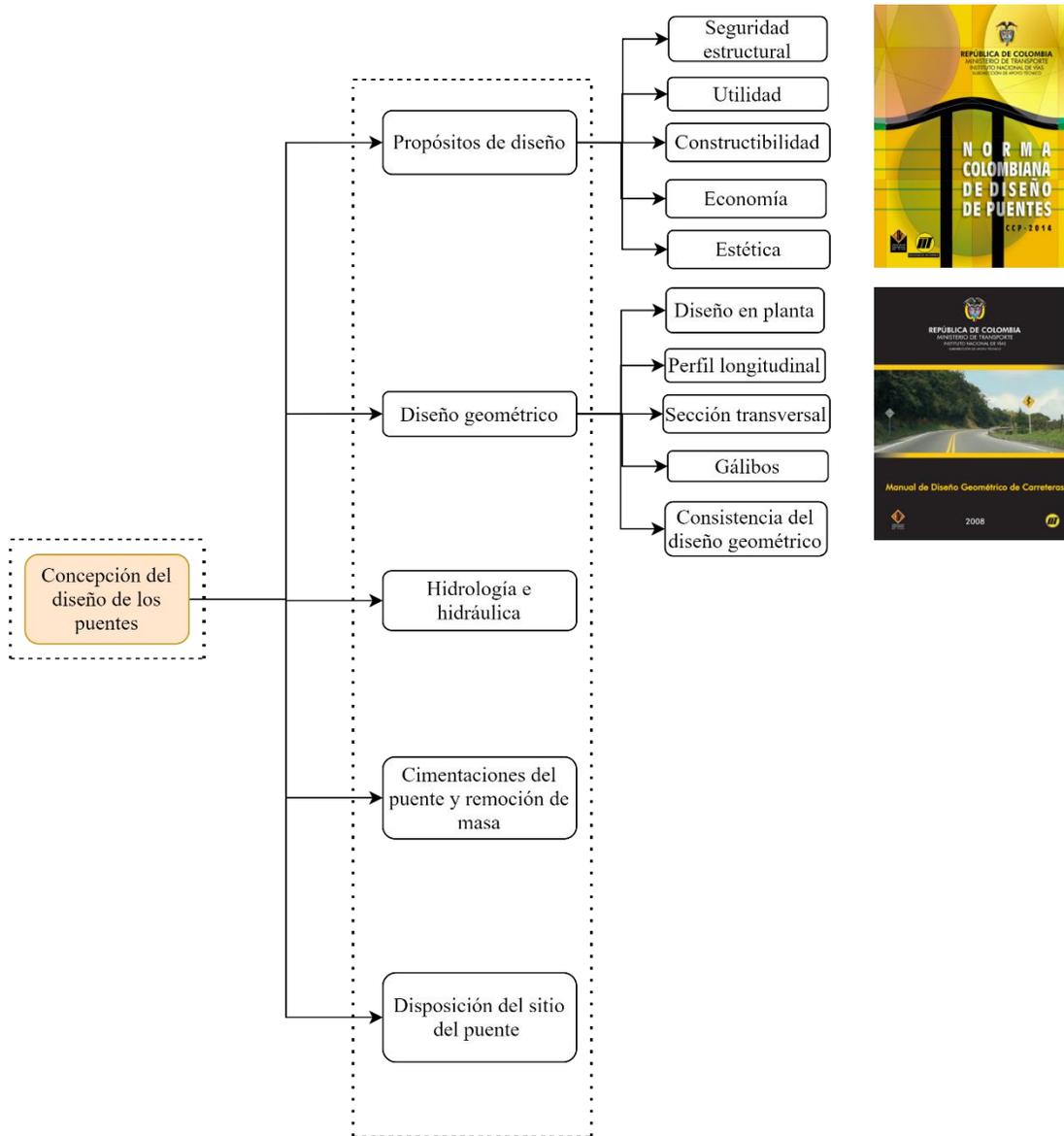


Figura 2-1. Flujograma con las variables principales para la concepción del puente.

2.2.1 Propósitos del diseño

La norma sismo resistente de puentes (CCP-14(INVIAS), 2014) se desarrolló para el análisis, diseño y rehabilitación de puentes vehiculares. Se basa en el método de factores de carga y resistencia. Los factores de reducción de resistencia y de mayoración de cargas se fundamentan en la teoría de confiabilidad estructural (Véase sección 1 de (CCP-14(INVIAS), 2014)).

En la sección 2 de la norma CCP-14, se presentan los propósitos del diseño de este tipo de estructura basados en cinco(5) aspectos fundamentales, que se exponen a continuación.

2.2.1.1 Seguridad estructural

Como lo indica la norma, esta no es concebida para reemplazar la capacidad ni el criterio profesional del diseñador, únicamente estipula los requisitos mínimos necesarios para proveer la seguridad pública. Los aspectos de la seguridad estructural se basan en los estados límites, ductilidad, redundancia y la importancia operacional como se expone en la Figura 2-2.

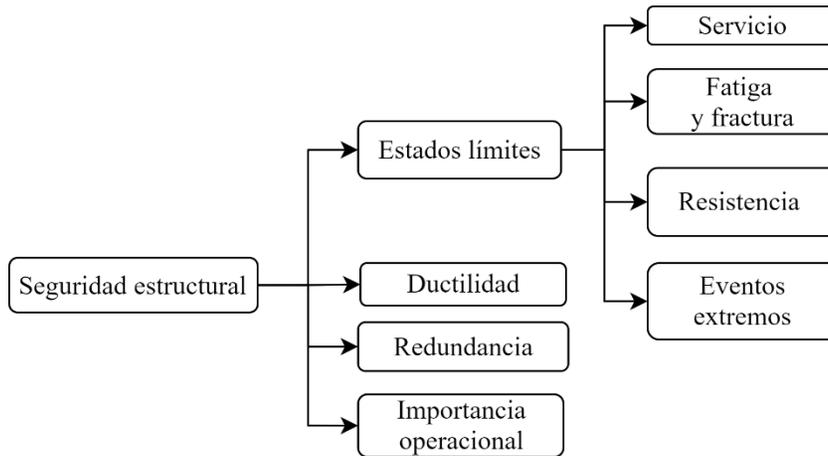


Figura 2-2. Aspectos principales de seguridad estructural.

Estados límites

Los puentes deben diseñarse para que cumplan los diferentes estados límites, de tal forma sean construibles y útiles, con la capacidad de soportar las cargas de diseño con niveles de seguridad adecuados para un periodo de vida específico. Cada componente y conexión del puente debe satisfacer la siguiente ecuación para cada estado límite, la cual depende principalmente de los factores que afectan las solicitaciones y la resistencia:

$$\sum n_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad 2 - 1$$

Para cargas para las cuales es apropiado el valor máximo de γ_i :

$$n_i = n_D n_R n_I \geq 0.95 \quad 2 - 2$$

Para cargas para las cuales es apropiado el valor mínimo de γ_i :

$$n_i = \frac{1}{n_D n_R n_I} \leq 1.0 \quad 2 - 3$$

Donde:

γ_i	Factor de mayoración de carga que se aplica a las solicitaciones.
ϕ	Factor de reducción de resistencia. Valores que se aplican a la resistencia nominal y se especifica en las secciones 5,6, 7, 8.10,11 y 12 del (CCP-14(INVIAS), 2014)
n_i	Factor de modificación de carga. Que depende de ductilidad, redundancia e importancia operativa.
n_D	Factor relacionado con ductilidad
n_R	Factor relacionado con redundancia
n_I	Factor relacionado con importancia operativa
Q_i	Solicitación
R_n	Resistencia nominal
R_r	Resistencia mayorada : ϕR_n

Los puentes deben cumplir con cuatro estados límites según (CCP-14(INVIAS), 2014):

- Se debe revisar el **de servicio**, donde se evalúa el comportamiento de la estructura y sus partes a nivel de esfuerzos y deformaciones bajo condiciones de carga sin mayorar en servicio.
- También se debe revisar **fatiga y fractura**, que está concebido para evitar el crecimiento de fisuras por cargas repetitivas y la correspondiente fractura durante la vida de diseño del puente. Está relacionado con la tenacidad de los materiales.
- Con los **de resistencia** se asegura la capacidad y estabilidad de la estructura en forma global y local resistiendo las diferentes combinaciones de carga estadísticamente significativas que se espera el puente sufra durante su ciclo de vida de diseño.
- **El estado límite de evento extremo** se debe considerar para que el puente resista durante un sismo, inundación severa, colisión de una embarcación, socavación, etc.

Ductilidad

Las estructuras de los puentes deben garantizar deformarse inelásticamente en forma significativa a partir del límite elástico y hasta cualquier pérdida de su capacidad de carga. Lo anterior representa que debe ser dúctil y no frágil, para lo cual los componentes de la subestructura que incluyen conexiones y articulaciones deben tener un detallado estructural para lograr este objetivo, el cual se especifica en la norma para los diferentes tipos de puentes. La ductilidad se define a continuación y es significativa entre mayor sea Δ_u con respecto a Δ_y , lo que representa una capacidad de disipación de energía.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad 2 - 4$$

Donde:

Δ_u : Deformación en estado último

Δ_y : Deformación en el límite elástico

El método depende de la ductilidad, redundancia e importancia operativa, siendo las primeras relacionadas con la resistencia física y la última cuando la estructura se pone en servicio. El comportamiento frágil es indeseable y se debe asegurar uno dúctil, garantizando deformaciones inelásticas significativas antes de que ocurra la pérdida de capacidad de carga. Permite advertir de la ocurrencia de la eminente falla estructural mediante deformaciones inelásticas significativas.

Para el estado límite de resistencia:

$$n_D \geq 1.05$$

$$n_D = 1$$

$$n_D \leq 0.95$$

Para componentes y conexiones no dúctiles.
Para diseños convencionales y detalles que cumplen con esta especificación

Para los componentes y conexiones para los cuales se ha especificado medidas adicionales para mejorar la ductilidad más allá de las especificaciones

Para los demás estados límites

$$n_D = 1$$

Redundancia

Los componentes principales de las estructuras de los puentes deben ser redundantes a menos que existan motivos justificados para no serlo. Es redundante cuando tiene múltiples trayectorias de carga, es continuo y no depende de un solo elemento sino de varios elementos. Un ejemplo es la cimentación profunda de una pila o pilón, que es redundantes si está compuesta por tres o cuatro caissons, y no lo es si es un mono caissons.

Para el estado límite de resistencia:

$$n_R \geq 1.05$$

$$n_R = 1$$

$$n_R \leq 0.95$$

Para miembros no redundantes.

Para niveles convencionales de redundancia.

Para niveles excepcionales 8/77de redundancia más allá de las vigas continuas y una sección cerrada a la torsión.

Para los demás estados límites

$$n_R = 1$$

Importancia operacional

Según la norma, es solamente aplicable para los estados límites de resistencia y de eventos extremos. La autoridad componentes puede definir cual componentes o conexión tiene prioridad.

Para el estado límite de resistencia:

$$\begin{aligned} n_I &\geq 1.05 \\ n_I &= 1 \\ n_I &\leq 0.95 \end{aligned}$$

Para miembros no redundantes.
 Para niveles convencionales de redundancia.
 Para niveles excepcionales de redundancia más allá de las vigas continuas y una sección cerrada a la torsión.

Para los demás estados limites
 (CCP-14(INVIAS), 2014)

$$n_R = 1$$

2.2.1.2 Utilidad

Además de la seguridad estructural, se debe tener en cuenta la utilidad del puente, para lo cual es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos que estipula la norma (CCP-14(INVIAS), 2014) en la el numeral 2.5.2.

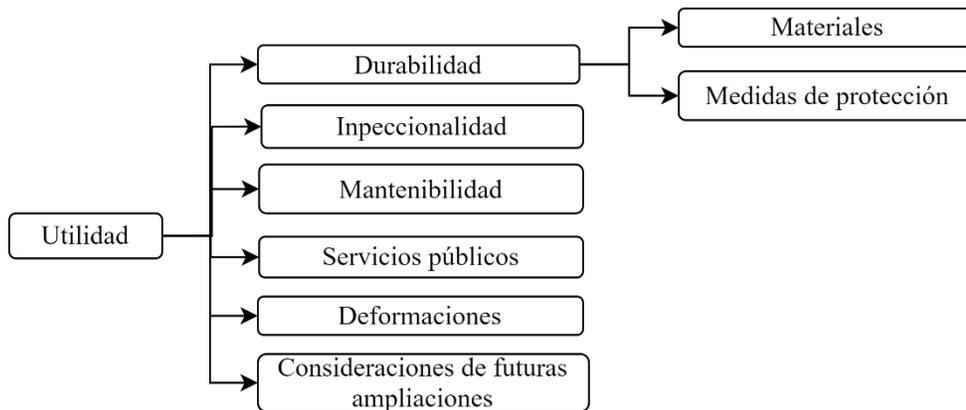


Figura 2-3. Aspectos principales de utilidad.

Se debe garantizar durabilidad de los materiales que componen los puentes, mediante el control de calidad desde la fabricación y aplicación hasta la construcción, lo cual incluye el acero estructural, acero de refuerzo, torones que hacen parte d ellos cables, pavimento, concreto, entre otros. También las medidas de protección, que incluye lagrimales, aditivos para juntas, etc.

Igualmente es necesario generar acceso adecuados en los puentes en los cuales sea posible hacer las inspecciones visuales periódicas o rutinarias, como también las labores de mantenimiento. Esta última labor es indispensable, cuya ejecución debe facilitarse y no dejar

espacios para la permanencia de humanos, como también puntos de apoyo que sean necesarios para el uso de gatos hidráulicos.

Igualmente garantizar la adecuación o los soportes de los servicios públicos, cuando estos sean totalmente necesarios y la conductibilidad que está relacionada con la superficie de rodadura que permita el flujo adecuado del tráfico.

Es importante tener en cuenta las deformaciones de los tableros de los puentes, que deben diseñarse para evitar efectos estructurales inadecuados que los hacen ver deformados a simple vista por los usuarios y que los usuarios pierdan la confianza en dichas estructuras. Y esto es aplicable para los puentes rectos con simetría como también a los curvos con asimetrías importantes esviado para lo cual la norma en el numeral 2.5.2.6.1 establece unas investigaciones adicionales. En el numeral 2.5.2.6.2 se presentan criterios de deflexiones, donde se presentan algunas opcionales y otros obligatorios.

En la siguiente tabla se exponen las recomendaciones de la norma:

Tabla 2-1 Profundidad mínimas tradicionales para superestructuras de profundidad constante. Fuente : Adaptada de (CCP-14(INVIAS), 2014)

Superestructura		Profundidad mínima (Incluyendo el tablero)	
Material	Tipo	Luz simplemente apoyada	Luces continuas
Concreto reforzado	Losas con refuerzo principal paralela al tráfico	$\frac{1.2(S + 300)}{30}$	$\frac{(S + 300)}{30} \geq 165mm$
	Viga T	0.07L	0.065L
	Viga cajón	0.07L	0.065L
	Vigas para estructuras para peatones	0.035L	0.033L
Concreto preesforzado	Losa	0.030L > 165mm	0.027 > 165mm
	Vigas cajón vaciadas en sitio	0.045L	0.04L
	Vigas I prefabricadas	0.045L	0.04L
	Vigas para estructuras peatonales	0.033L	0.030L
	Vigas cajón adyacentes	0.030L	0.025L
Acero	Profundidad de vigas T compuestas	0.040L	0.032L
	Profundidad de porción de acero de viga I compuesta	0.033L	0.027L
	Cerchas	0.01L	0.01L

2.2.1.3 Constructibilidad

2.2.1.4 Economía

2.2.1.5 Estética

La necesidad de los puentes surge principalmente a partir de los diferentes tipos de obstáculos por cruzar que se identifican en el diseño de una vía, el cual consiste en el trazado geométrico (horizontal y vertical) de un tramo entre dos puntos, basados en la topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales y urbanísticos, etc.

Para ello, la ingeniería nacional se basa principalmente en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Véase (Instituto Nacional de Vías, 2008)) y otras referencias nacionales e internacionales, encontrándose en el diseño de dicho tramo de vía diferentes obras de infraestructura además de los puentes, tales como: alcantarillas, drenajes, pontones, túneles, muros de contención, etc.

El diseño de los puentes debe cumplir con las especificaciones de dicho Manual o con requisitos específicos, como lo especifica la norma (CCP-14(INVIAS), 2014) en los numerales 2.3.2.2.3 y 2.3.2.2.4, que incluye el ancho de las bermas, geometría de barreras, bombeo, peralte, etc.

Como contexto del tema, se presenta la planta perfil de algunos ejemplos principales de diseño geométrico, donde ha sido necesario la concepción de un puente. En la Figura 2 - 2 se ilustra el planta-perfil de un sector del tramo de la vía Cúcuta – Agua Clara, donde se observa después de una curva y en el sector plano un obstáculo natural (río Chacona), donde fue necesario y se concibió un puente para superar una longitud de cuarenta y dos (42) metros y un desnivel de aproximadamente nueve (9) metros. En este caso es un cruce por cursos hídricos, donde es necesario un puente, porque los caudales hacen inviable el uso de obras de drenaje típicas, como alcantarilla, etc.

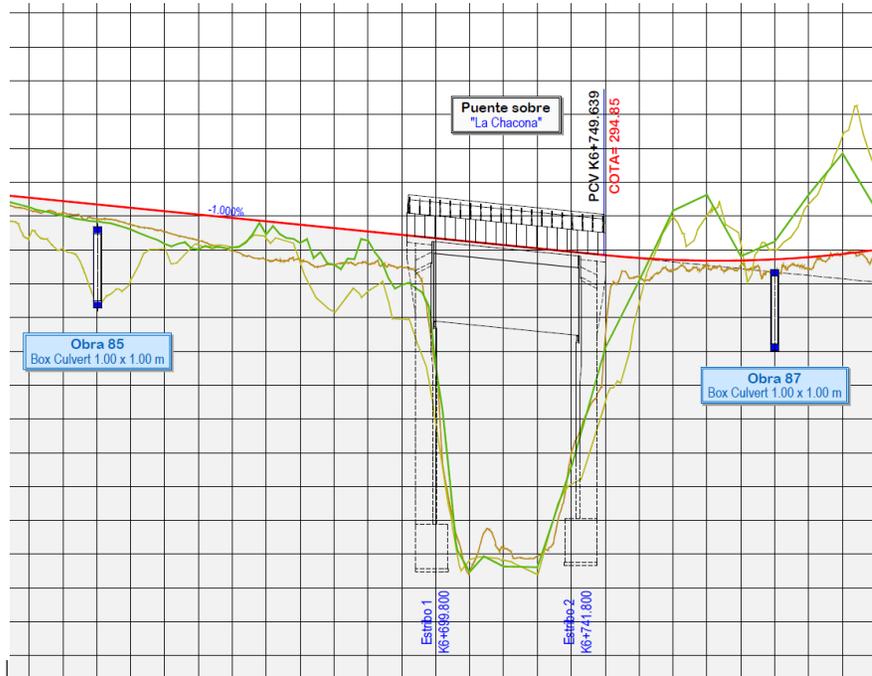
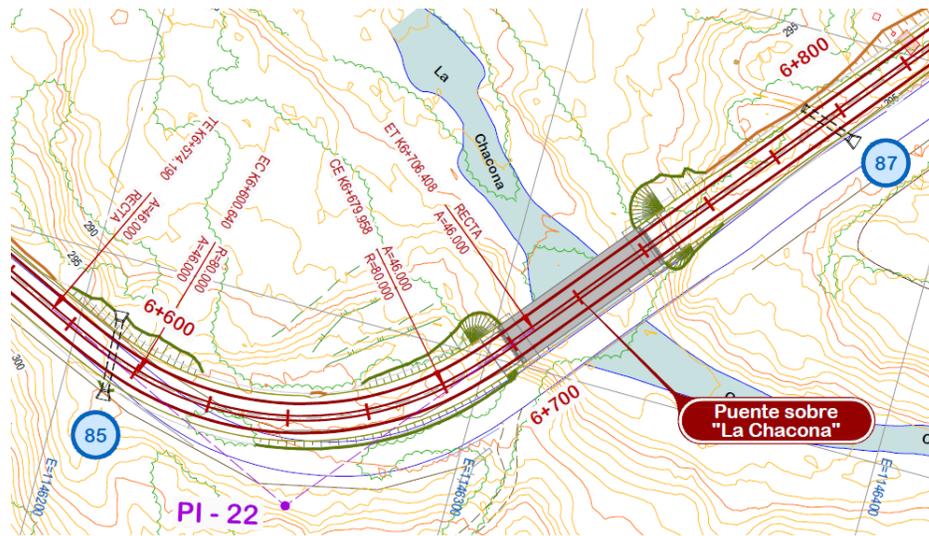


Figura 2 - 2. Planta- perfil de vía con puente necesario para cruzar río. Fuente: Adaptado de (Instituto Nacional de Vías, 2013)

En la Figura 2 - 3 se ilustra otro sector del tramo de la vía Cúcuta – Agua Clara, donde se observa un obstáculo natural (desnivel topográfico), donde se proyectó el puente “La Sepa” para cumplir con la curva vertical del diseño geométrico y superar una longitud de veintiocho (28) metros, como también un desnivel de aproximadamente nueve (9) metros. Este caso se puede clasificar en condiciones geométricas forzadas.

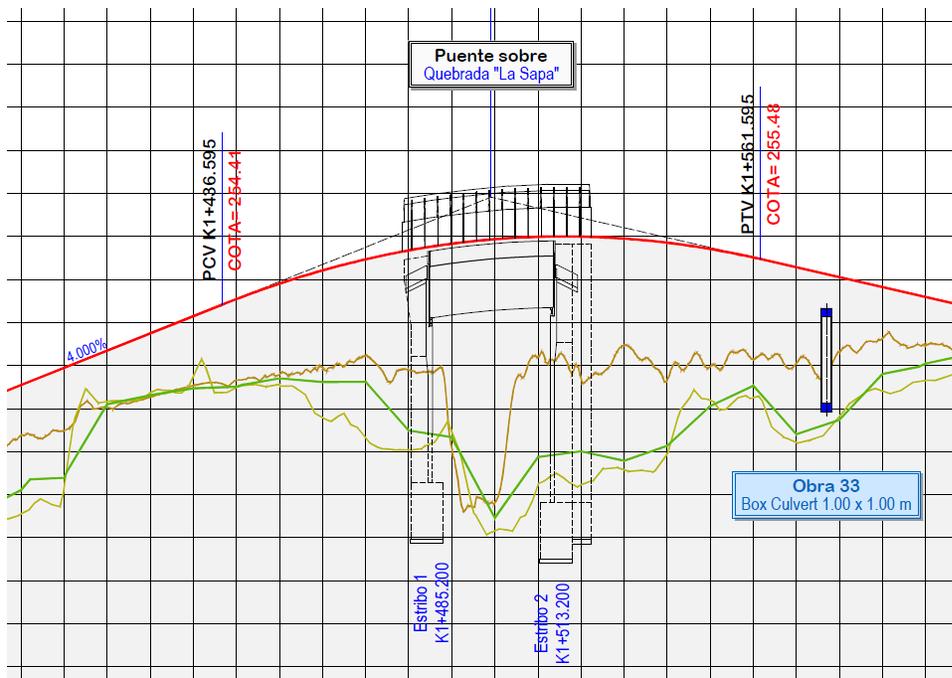
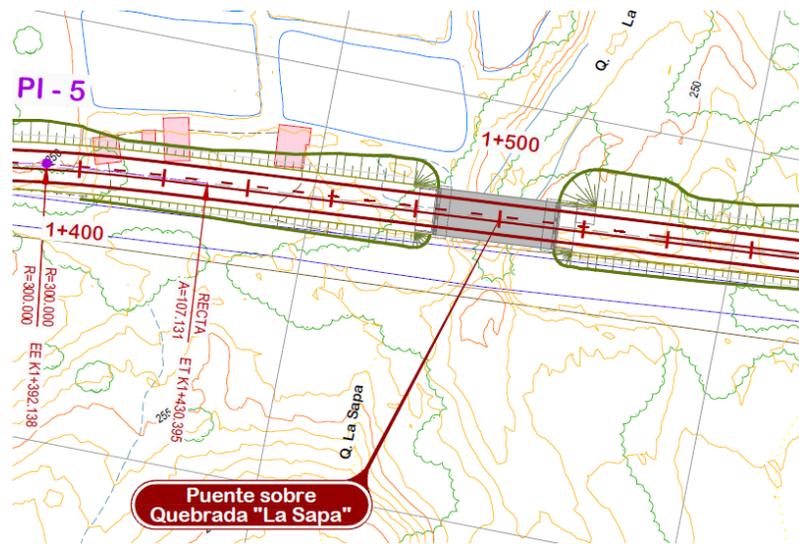


Figura 2 - 3. Planta- perfil de vía con puente “La Sapa” necesario para cruzar desnivel y cumplir con una curva vertical. Fuente: Adaptado de (Instituto Nacional de Vías, 2013)

En la Figura 2 - 4 se ilustra otro sector del tramo segunda calzada primavera (Antioquia), donde se observa un obstáculo artificial (desnivel topográfico, carreteras secundarias y casa), donde se proyectó el puente “El Aserradero” para superar una longitud de doscientos cincuenta (250) metros, como también un desnivel de aproximadamente treinta y dos (32) metros.

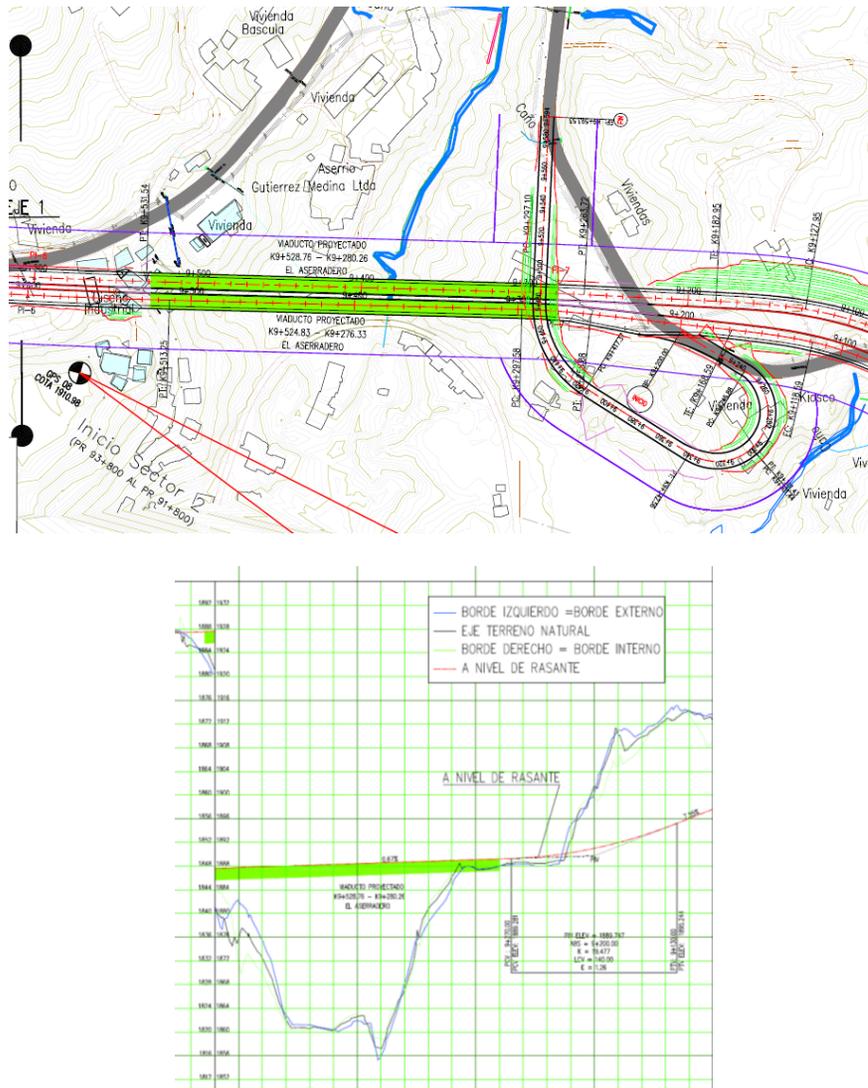


Figura 2 - 4. Planta- perfil de vía con puente “El Aserradero” necesario para cruzar un obstáculo artificial. Fuente: Adaptado de (Instituto Nacional de Vías, 2016)

Otro caso de puentes se puede generar por inestabilidad geológica y geotecnia de sectores de la carretera donde hace obligatorio una estructura de puente. Las carreteras de la Red Vial nacional se clasifican según su funcionalidad y pueden ser primarias, secundarias o terciarias. Las primarias son troncales, transversales y accesos pavimentados (de calzadas divididas según la exigencia) a capitales de Departamentos que cumplen la función de la comunicación con las principales zonas de desarrollo incluyendo la conexión con los países de la frontera. Las secundarias son las que unen cabeceras Municipales entre sí y se unen con la primaria, y pueden ser pavimentadas o en afirmado. Las terciarias son aquellas que unen las cabeceras municipales con sus veredas o veredas entre sí, y generalmente son en afirmado, pero pueden ser pavimentadas.

También se clasifican según el tipo de terreno:

- **Plano:** Son tramos que tienen pendientes longitudinales menores al 3% y transversales al eje de la vía menores a 5 grados. Su construcción incluye un mínimo movimiento de tierras.
- **Ondulado:** Son tramos que tienen pendientes longitudinales entre 3% y 6%. Pendientes transversales al eje de la vía entre 6-13 grados. Su construcción incluye un movimiento moderado de tierras. Son tramos con alineamiento vertical y horizontal que obliga a los camiones pesados disminuir su velocidad significativamente con respecto a los vehículos livianos.
- **Montañoso:** Son tramos que tienen pendientes longitudinales entre 6% y 8%. Pendientes transversales al eje de la vía entre 13 -40 grados. Su construcción incluye grandes movimientos de tierras.
- **Escarpado:** Son tramos que tienen pendientes longitudinales superiores a 8%. Pendientes transversales al eje de la vía superiores a 40 grados. Su construcción incluye grandes movimientos de tierras y grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente su alineamiento se encuentra definidos por divisorias de aguas.

Una variable fundamental en el diseño geométrico es la velocidad de diseño y su definición se basa en la categoría de la carretera y el tipo de terreno, como se ilustra en el siguiente cuadro.

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											

Figura 2 - 5: Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Por la importancia de este tema en la concepción de los puentes, se presente a continuación diversos casos de la geometría de puentes que cumplen con el diseño geométrico de la carretera en: planta, perfil longitudinal y sección transversal.

2.2.2.1 Diseño en planta

El diseño de una carretera debe tener relaciones adecuadas entre velocidad de diseño, curvatura y peralte. El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de grado de curvatura variables garantizando transiciones suaves. Para puentes se pueden presentar los siguientes casos:

Según (Instituto Nacional de Vías, 2008), salvo condiciones debidamente justificadas y concertadas con el contratante, se recomienda:

- Se debe buscar que el puente se encuentre dentro de una entretangencia o dentro de un tramo de curvatura constante.
- No se deberán proyectar puente en curvaturas de transición.
- Si el puente se encuentra en una entretangencia la distancia mínima requerida entre los estribos del puente y las curvas adyacentes será:
 - Para el caso de curvas circulares, entre el estribo y el inicio de la curva deberá existir como mínimo una distancia (D) igual a la requerida para realizar la transición del peralte, tal como se indica a continuación:

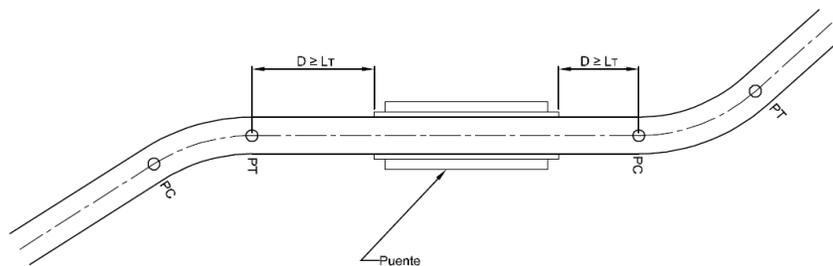


Figura 2 - 6: Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes circulares. Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

- Para el caso de curvas circulares, entre el estribo y el inicio de la curva deberá existir como mínimo una distancia (D) igual a la requerida para realizar el aplanamiento de la calzada, tal como se indica a continuación:

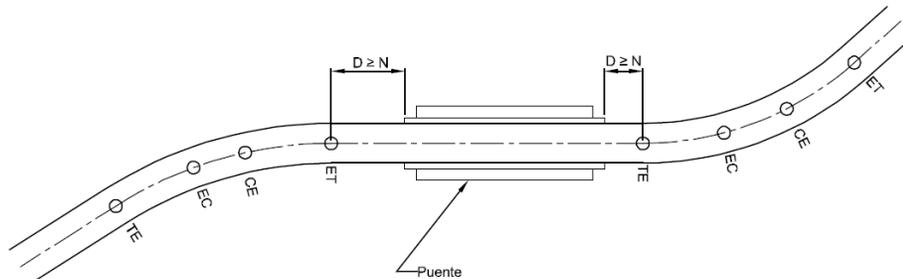


Figura 2 - 7: Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes en espirales de transición.
Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2008)

Tramo recto

Los puentes con tramo recto son los más comunes en la Red Vial Nacional, que pueden estar localizado entre tangencias como se observa en las Figura 2 - 6 y Figura 2 - 7 . Un ejemplo de ellos es el puente en voladizos sucesivos K55 que se encuentra ubicado dentro del proyecto de la Ruta del Sol en el sector número 1 que se localiza entre Villeta – Guaduro y el Korán. Tiene una longitud total de 160m. La altura de la sección cajón en la dovela típica es de 2.70m y en la dovela sobre pila de 3.00m. Tiene un pendiente longitudinal del 2.13 % y una pendiente transversal del 2% como se observa en la Figura 2 - 8 y Figura 2 - 9.

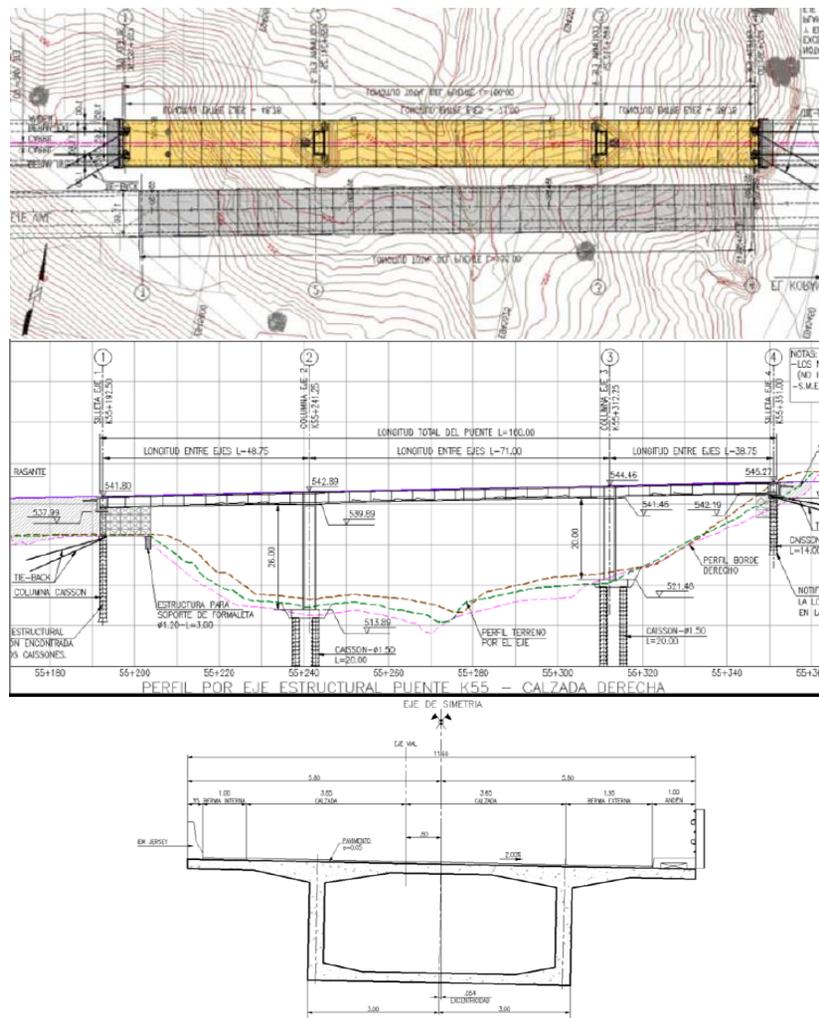


Figura 2 - 8. Planta y perfil del puente K55 (Voladizos Sucesivos) - Calzada Derecha. Fuente: (AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, 2010)



Figura 2 - 9. Fotografía de puente K55 (Voladizos Sucesivos) - Calzada Derecha.
Fuente: (AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCURA, 2010)

Otro ejemplo es un puente de una sola luz simplemente apoyado que se observa en la siguiente figura:

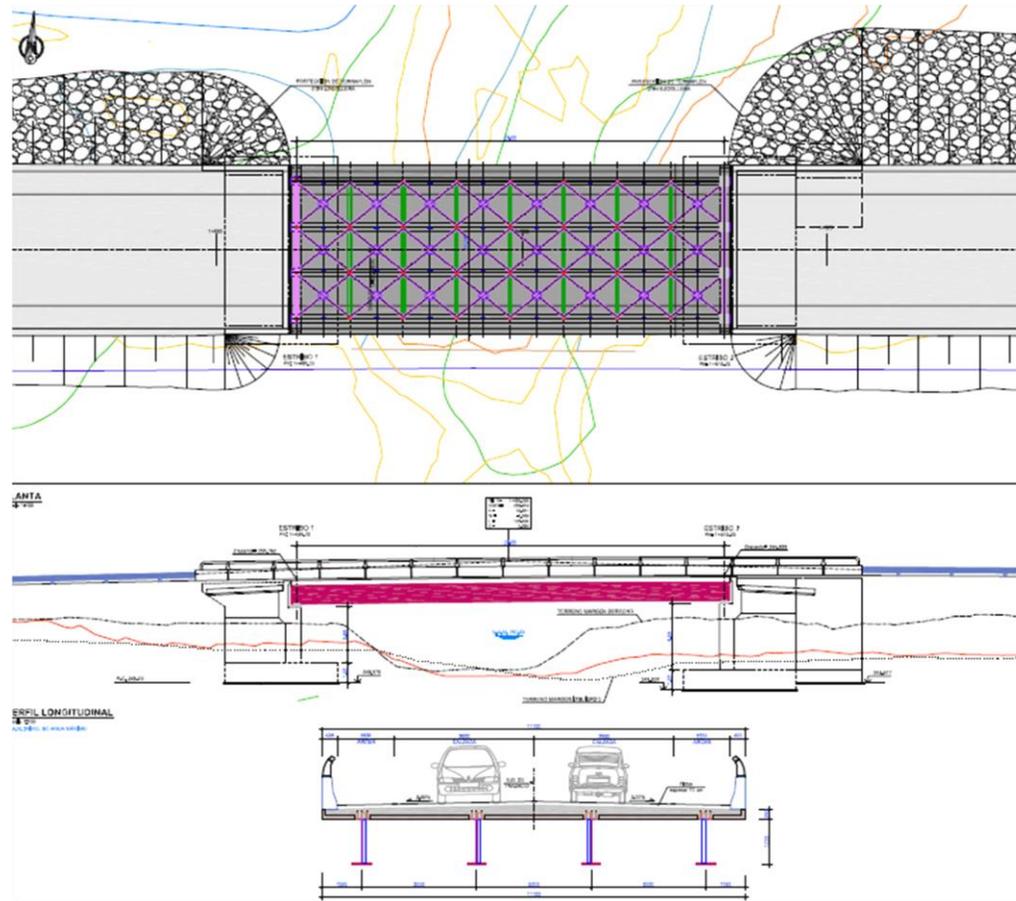


Figura 2 - 10. Planta y perfil del puente la Sapa de la carretera Cúcuta - Agua Clara (Hito 1). Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2011)

Tramos circulares combinados

Para condiciones debidamente justificadas y concertadas se debe cumplir para los casos de tramos circulares o combinados (recto más circular, etc). En las Figura 2 - 11 y Figura 2 - 12 se presentan diferentes tramos circulares tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2008). En la Figura 2 - 11(a) se resenta un empalme circulo simple que es un elemento geométrico de curvatura rígida. Tienen una curvatura constate inversamente proporcional al radio. En la Figura 2 - 11(b) se expone un empalme espiral – círculo - espiral (simétrico), el cual está conformado por una espiral de entrada, un arco circular central y una espiral de salida.

En la Figura 2 - 11(c) se expone un empalme espiral clotoide, que es la unión de una recta con un arco circular. La espiral clotoide corresponde a la espiral con más uso en el diseño de carreteras ya que tiene bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos, ya que permite carreteras cómodas, seguras y estéticas.

En la Figura 2 - 11(d) se expone un empalme espiral – círculo - espiral (asimétrico), el cual está también conformado por una espiral de entrada, un arco circular central y una espiral de salida, siendo diferentes los parámetros entre las dos espirales.

En la Figura 2 - 12 (a) se expone un empalme espiral - espiral, que corresponde a dos alineamientos rectos con dos ramas de espiral con un radio único en el centro sin tramo circular. Puede ser un tramo espiralizado simétrico o asimétrico es decir con parámetros iguales o diferentes entre las dos espirales.

En la Figura 2 - 12 (b) se presenta un empalme en forma de “S”, que corresponde a la unión de dos arcos circulares de sentido contrario, mediante dos arcos de transición simétricos de igual parámetro o dos arcos de transición asimétricos de diferentes paramentos. En la Figura 2 - 12(c) se presenta el empalme en forma de “C”, que corresponde a la unión de dos arcos en circulares de igual sentido y radios diferentes unidos mediante un arco de transición.

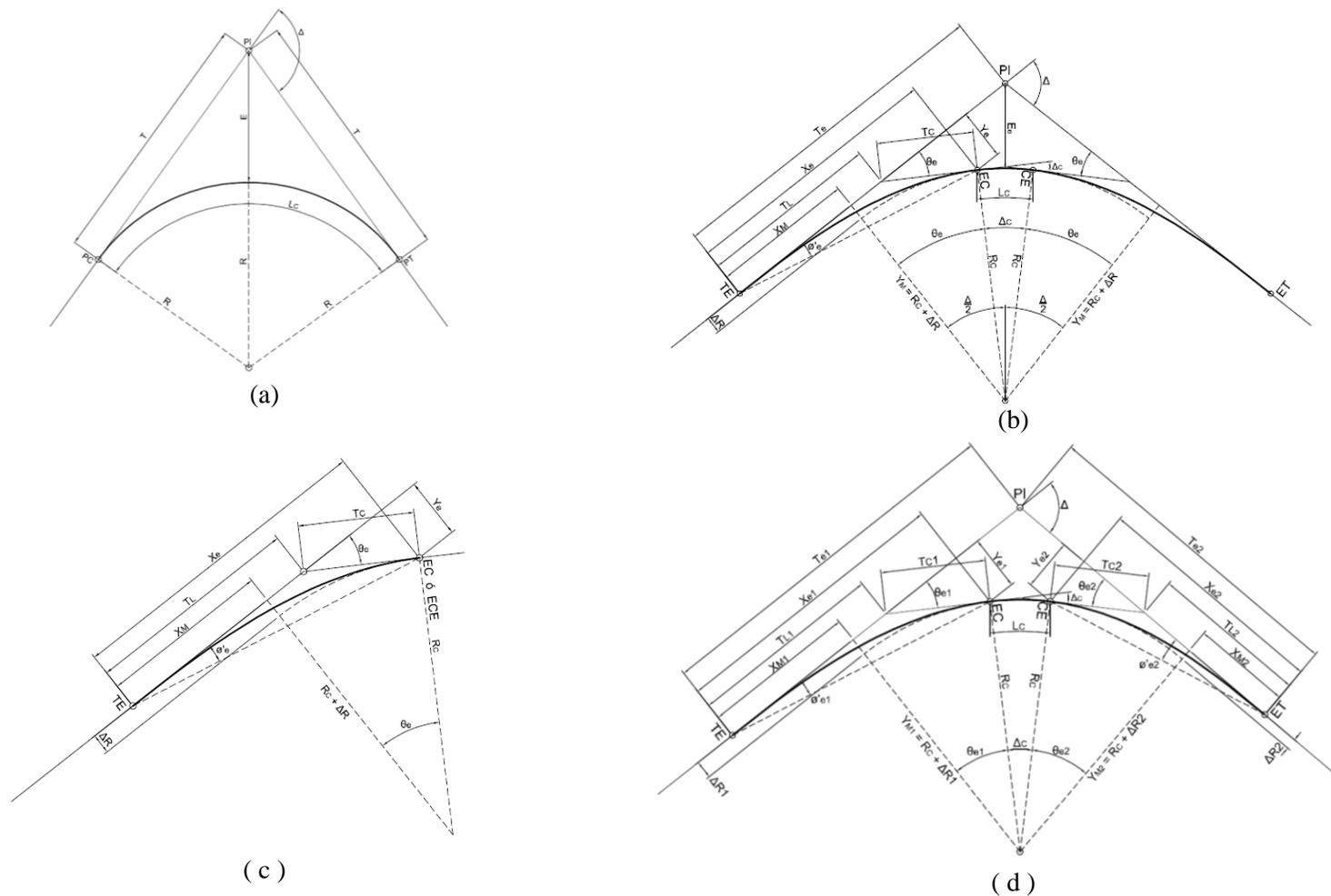


Figura 2 - 11 (a) Elementos de empalme de circular simple. (c) Elementos de empalme espiral clotoide. (b)Elementos de empalme espiral – círculo – espiral (simétrico). (d)Elementos de empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico) Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2008)

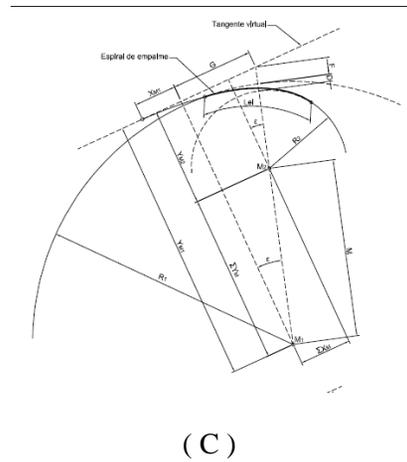
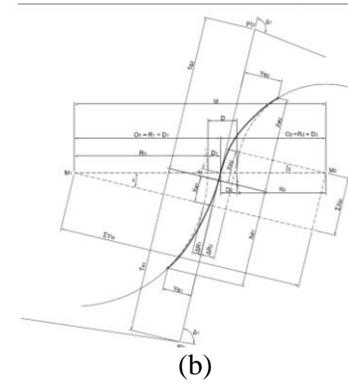
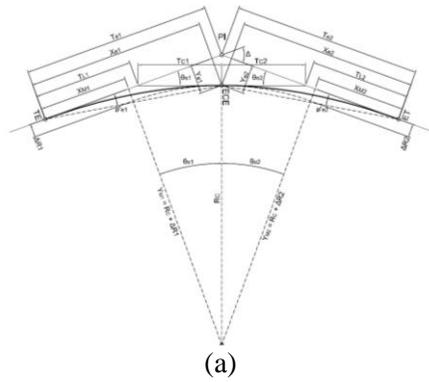


Figura 2 - 12 (a) Elementos de empalme de espiral - espiral. (b) Elementos de empalme en forma de “S”. (c) Elemento de empalme. Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2008)

A continuación, se presentan algunos ejemplos de puentes con un alineamiento curvo, donde seguramente se aplicó algunas de las opciones antes mencionadas. En la Figura 2 - 13 se presenta el puente Chirajará localizado en la carretera Bogotá – Villavicencio el cual fue construido por el método de empujado y su tablero está constituido por una sección mixta de vigas de acero y losa prefabricadas en concreto reforzado. En la Figura 2 - 14 se presenta el Viaducto Las Lajas, que tiene una superestructura construida por voladizos sucesivos en dovelas de sección variable apoyadas en tres luces. Estas luces se encuentran conformadas por una luz central de 105 metros y dos laterales de 52 metros.

En la Figura 2 - 15 se presenta el puente Portachuelo con alineamiento curvo. Esta estructura es un puente continuo con curvatura en planta. La calzada que se estudió cuenta con 14 luces, 12 de ellas de 27 m y otras dos de 20.2 m y 19.2 m para una longitud total de 363.4 m. La geometría en planta del eje del viaducto es una curva espiralizada de 229 m de radio entre el estribo 1 y la pila 1, 146 m entre la pila 1 y la pila 2, 150 m entre la pila 2 y la pila 9, 220 m entre la pila 9 y la pila 10, 1018 m entre la pila 10 y la pila 11, seguido de un tramo recto entre la pila 11 y el estribo 2 hacia el municipio de Ubaté.

En la Figura 2 - 16 se presenta el puente Quebrada Honda, que es de 3 vanos isostáticos, 27,5+30.0+20.0m, compuesto por una losa de hormigón apoyada sobre 3 vigas de hormigón postesado. La calzada alojará dos carriles de 3.65 m descentrados respecto el eje del tablero, dos bermas de 1.0 m y 1.95 m respectivamente, una barrera de tráfico de 0.35m de ancho en el lado izquierdo y un andén y baranda metálica de 1.0m de ancho del lado derecho totalizando un ancho de 11.60m.

En la Figura 2 - 17 se presenta otro puente con tablero continuo curvo de dos vanos de la luz 40 metros, conformado por dos vigas artesa de canto constante y una losa de concreto reforzado de 0.25 metros de espesor. Para cumplir con el diseño geométrico de la carretera, además de ser curvo, tiene una pendiente longitudinal de 7.7% y transversal de 5.5%.

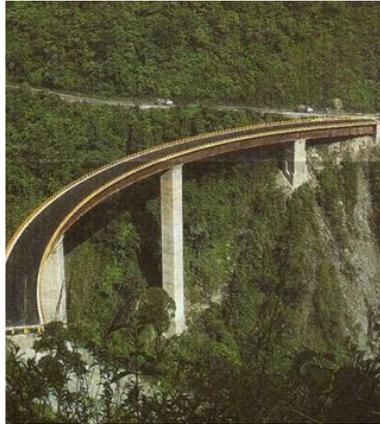


Figura 2 - 13 Puente Chirajara en la carretera Bogotá – Villavicencio. Fuente: Autorizada para su publicación por el INVIAS.Notivías, número 10

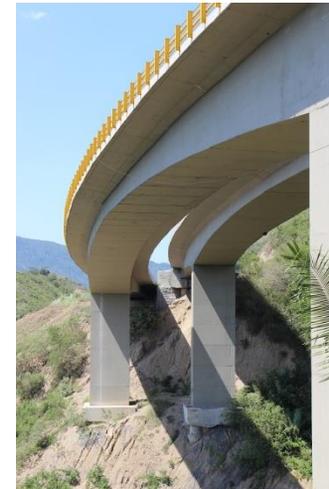


Figura 2 - 14 Foto del perfil general del puente VIADUCTO LAS LAJAS – CALZADA IZQUIERDA. . Fuente:(AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCURA, 2010)



Figura 2 - 15.Ejemplo de losa aligerada apoyada sobre columnas con aisladores sísmicos. Puente Porteachuelo Fuente: Autorizado para su publicación por la referencia (Rosillo et al., 2009)



Figura 2 - 16.Ejemplo de puente Quebrada Honda. Fuente: (AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCURA, 2010)

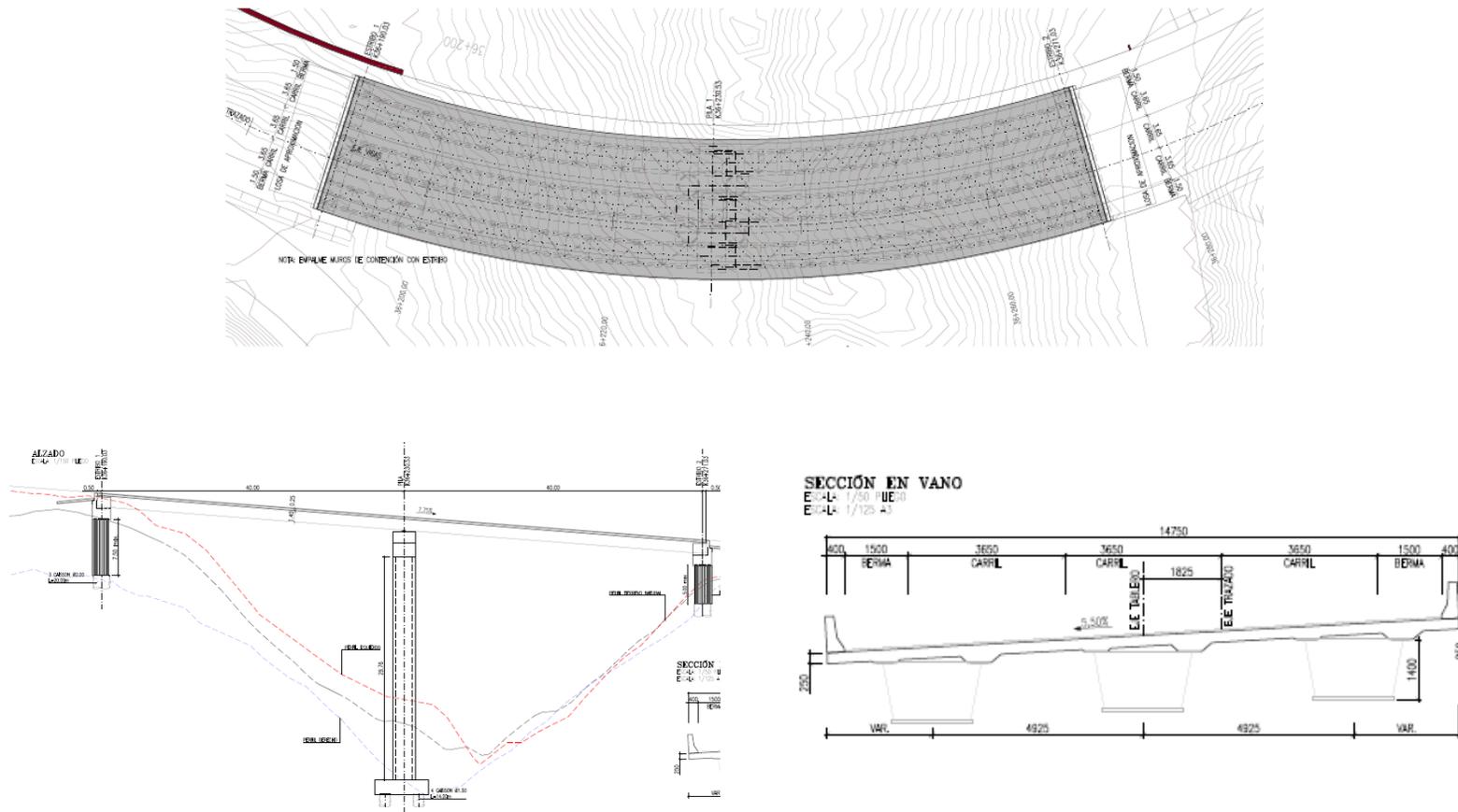


Figura 2 - 17. Planta y perfil del puente 49 de la carretera Cúcuta - Agua Clara (Hito 1). Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2011)

2.2.2.2 Perfil longitudinal de la carretera

El alineamiento vertical esta conformados por una serie de rectas tangentes enlazadas por arcos parabólicos. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, el alineamiento horizontal, la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos (Véase (Instituto Nacional de Vías, 2008)).

Para puentes, se debe tratar de cumplir con los siguientes requisitos estipulados por (Instituto Nacional de Vías, 2008):

- Se debe buscar que el puente quede en un tramo de pendiente constante
- Cuando se presente curvas verticales adyacentes al puente, su desarrollo se debe realizar completamente fuera del mismo. Se aceptará que los puntos extremos de las curvas verticales coincidan exactamente con los estribos del puente.

Tangente vertical

La pendiente mínima debe garantizar el manejo de las aguas de escorrentía en la superficie de rodadura en las cuentas. La pendiente mínima que garantiza el funcionamiento adecuado de las cunetas es entre el 0.3 y 0.5%. Su selección depende de los criterios de frecuencia, intensidad de las lluvias, etc.

La pendiente máxima depende de la velocidad de diseño, como se observa a continuación:

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO									
	V_{TR} (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Figura 2 - 18: Pendiente media máxima del corredor en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Igualmente se deben cumplir con la longitud mínima y máxima como lo especifica en la referencia (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Curvas verticales

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que sirva de paso gradual de la tangente de salida. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas.

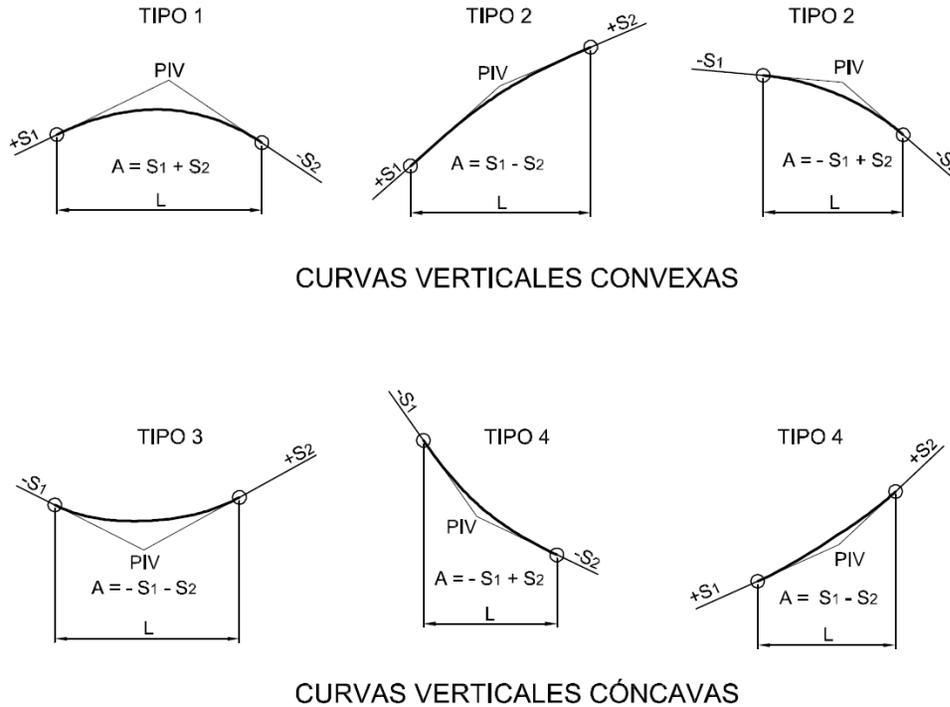


Figura 2 - 19: Curvas verticales convexas y cóncavas Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2008)

En la siguiente figura se presenta un ejemplo de un puente curvo con una pendiente longitudinal del 3.1 % y una pendiente transversal de 3%.

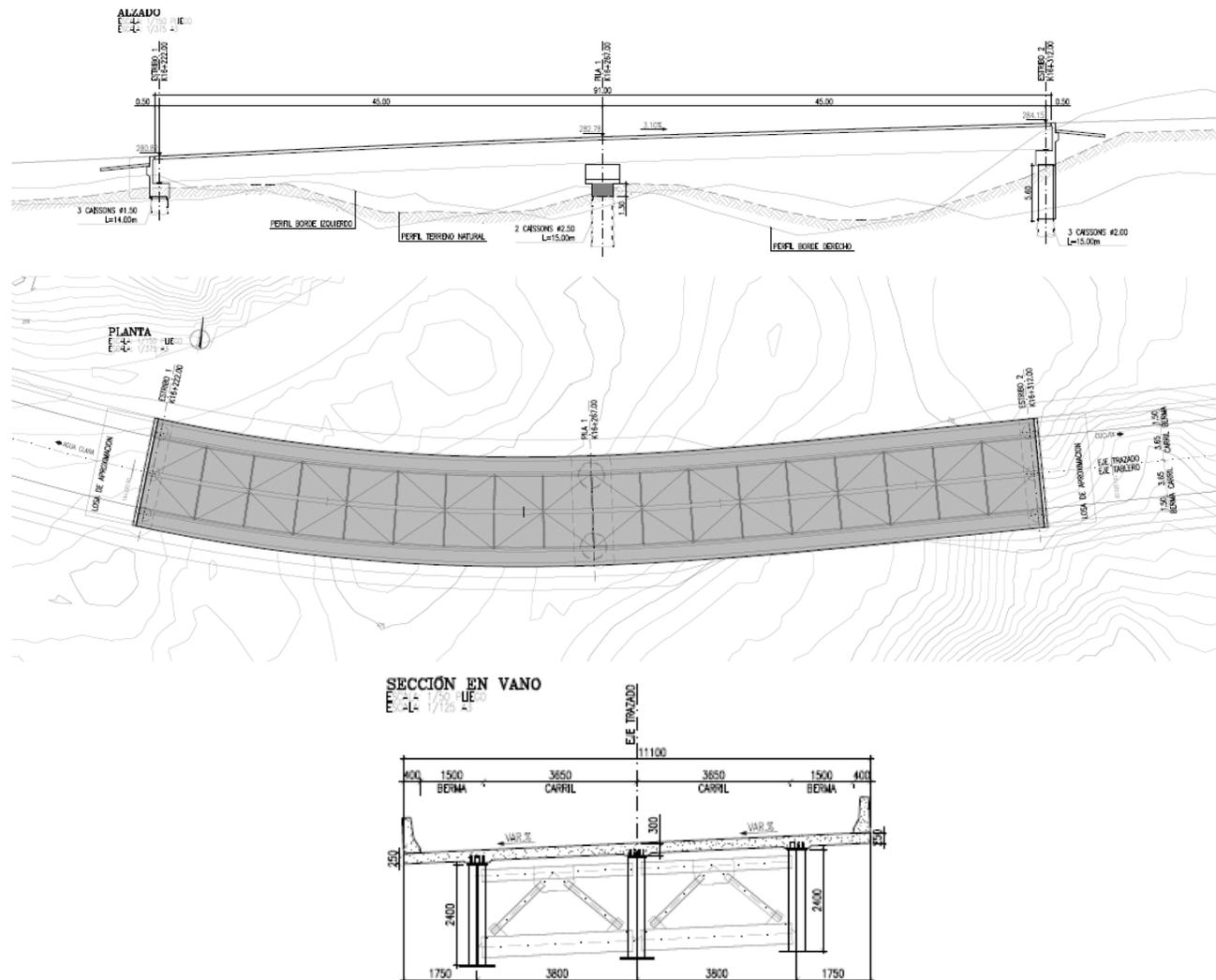


Figura 2 - 20. Planta y perfil del puente 4 de la carretera Cúcuta - Agua Clara (Hito 1). Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2011)

2.2.2.3 Sección transversal

De acuerdo con el numeral 2.3.2.2.3 de la (CCP-14(INVIAS), 2014) debe cumplirse con las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras -(Instituto Nacional de Vías, 2011). Por lo tanto, se debe cumplir con los siguientes requisitos estipulados en el capítulo 7 de dicho Manual:

- En la zona de circulación vehicular del tablero del puente, mantener la sección típica del tramo de carretera correspondiente a los elementos de la corona.
- Cuando se requiera la implementación de zonas para paso peatonal, estas deberán separar de la zona de circulación vehicular mediante barreras de tráfico y proteger hacia el exterior del tablero a través de barandas.
- Cuando el haga parte de una carretera multicarril, se deberá dotar de un separador para cada sentido de circulación.
- En ningún caso los elementos tendrán anchos inferiores a los siguiente:
 - Carril : 3.5 m
 - Berma : 1.0 m
 - Andenes : 1.0 m
 - Ciclo rutas: 2.0 m

Adicionalmente los tableros de los puentes deben tener una pendiente cómo lo indica el en el numeral 2.6.6.1 para el manejo de la escorrentía producto de la lluvia y también para cumplir el diseño geométrico de la carretera, donde puede ser necesario un peralte en alguna de las partes cuando son estructuras curvas o no. Se debe contar con drenajes adecuados en ambos lados de la calzada que garanticen la salida del agua por la escorrentía correspondiente.

La geometría transversal de los tableros de los puentes deben adaptarse con las especificaciones que estable de sesiones transversales de carreteras en el capítulo 5 del Manual de diseño geométrico de carreteras (Instituto Nacional de Vías, 2008). La corona de una vía es lo conformado por calzada y bermas. La calzada es la parte de la corono destinada para la circulación de los vehículos y está compuesta por uno o más carriles. El ancho de la calzada depende de la categoría de la carretera y el tipo de terreno:

CATEGORÍA 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	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	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 2 - 21: Achos de calzada (m). Fuente: Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2008)

En el numeral 2.3.2.2.3 de la (CCP-14(INVIAS), 2014)se especifica que el ancho de las bermas y la geometría de las berreras de tráfico deberán cumplir con las especificaciones del propietario. Por lo anterior, es importante considerar lo que especifica la referencia (Instituto Nacional de Vías, 2011) , con relación a los anchos de las bermas, que son las fajas entre el borde de la calzada y el borde de la cuneta. Los anchos mínimos de la berma derecha e izquierda dependiendo de la categoría de la carretera y el tipo de terrenos son las siguientes:

CATEGORÍA 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	1.50	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

Figura 2 - 22: Achos de las bermas. Fuente: Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Deben estar libres de obstáculos y cumplen funciones de seguridad vial. Las cunetas son zanjas abiertas en el terreno, revestidas o no, que recogen las aguas superficiales o infiltración.

Los andenes son de uso restringido en áreas rurales, lo cual depende del número de peatones. Según (CCP-14(INVIAS), 2014), el ancho mínimo debe ser de 1.50 m y su elevación con respecto a la corona debe estar entre 0.1 y 0.25 metros. Un ejemplo de un tablero es el siguiente, que incluye las bermas, barreras de tráfico y el andén.

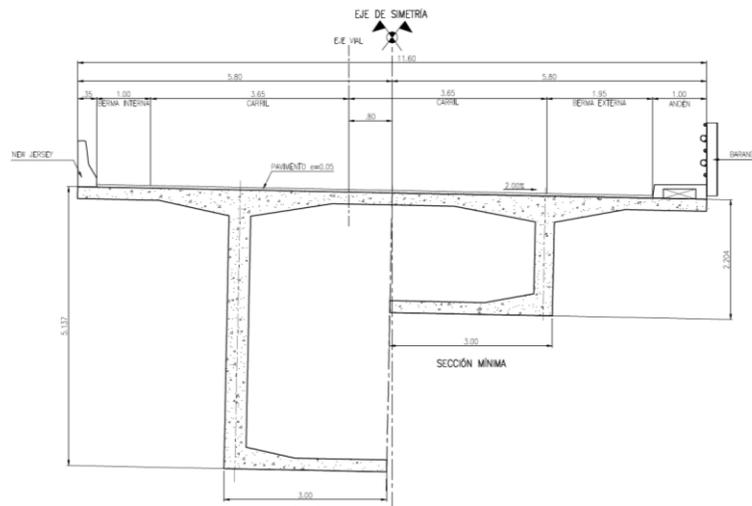


Figura 2 - 23. Ejemplo de puente La Morena. Fuente: (AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, 2010)

2.2.2.5 Gálidos

De acuerdo con el numeral 2.3.3.2 de la (CCP-14(INVIAS), 2014), los puentes sobre carreteras o vías férreas deben tener un galibo vertical mayor o igual a 5.50 m. Es la distancia entre la parte inferior del puente y el nivel de la calzada de la otra carretera o vía férrea, como se observa en Figura 2 - 24.



Figura 2 - 24.Ejemplo de galibo de puente - Intersección Siberia sobre carretera - Honda - Villeta. Fuente: Propia

Según (Instituto Nacional de Vías, 2008), sobre corrientes de agua, relativamente limpias en toda época, mínimo dos (2) metros por encima del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E). Sobre corrientes de agua que algunos periodos transportan desechos, trocos y otros objetos voluminosos, mínimo dos (2.5) metros con cincuenta centímetros por encima del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E). Sobre cursos hídricos navegables, el galibo dependerá del calado máximo de navegación, por lo que el valor debe ser definido por el Ministerio de Transporte. Un ejemplo es el que se muestra en la siguiente figura, pero sin embargo el galibo se mide en aguas máximas del río, que no es el caso que se observa en dicho ejemplo.

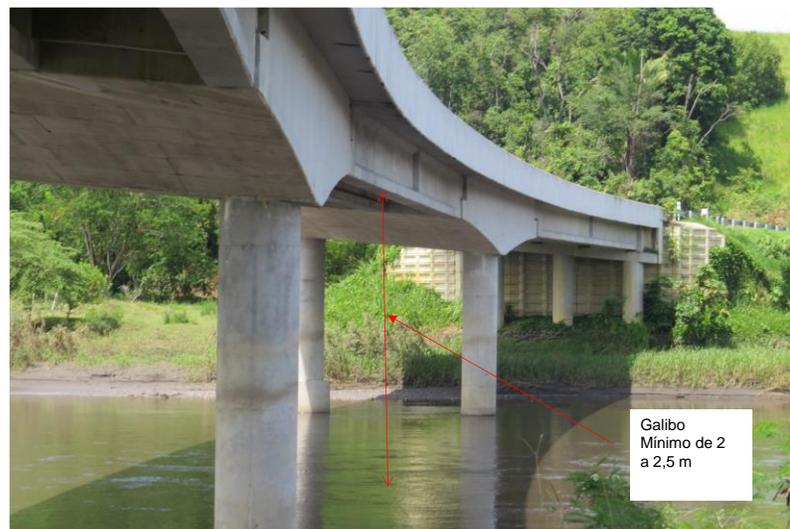


Figura 2 - 25.Ejemplo de galibo de puente Río Negro sobre carretera - Honda – Río Ermitaño. Fuente: Propia

2.2.2.6 Consistencias del diseño geométrico

El diseño geométrico debe cumplir con las condiciones en planta, perfil y sección transversal antes mencionadas, pero no concebidas en forma independiente si no cumpliendo para que sean un diseño vial seguro y agradable sin inconsistencia que puede generar sobrecostos derivados de correcciones durante el proceso de construcción o antes de cumplirse su periodo de servicio.

Para puenteS, se debe garantizar que su ubicación no entorpezca las condiciones de operación, para lo cual (Instituto Nacional de Vías, 2008) recomienda:

- Su ubicación no genere condiciones geométricas forzadas:

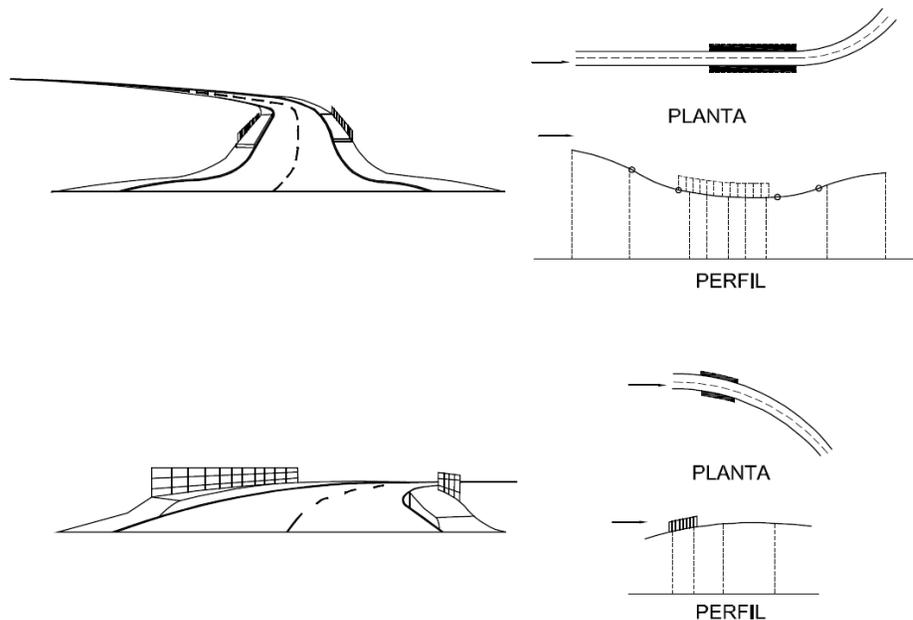


Figura 2 - 26.Condiciones geométricas forzadas. Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

- Su sección transversal no genere efectos ópticos indeseables, tal como la disminución aparente del ancho de calzada.

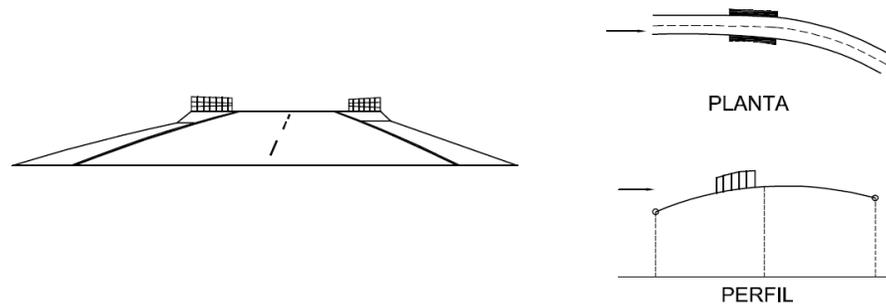


Figura 2 - 27. Condiciones geométricas forzadas. Fuente:(Instituto Nacional de Vías, 2008)

2.2.3 Hidrología e hidráulica

Basados en el estudio hidráulico, hidrológico y de socavación más el diseño geométrico y el estudio de geotecnia se define la longitud y el galibo de un puente, como también los niveles de socavación en cada cimentación de estribos y/o pilas, como también la zona de inundación. Para el estudio hidráulico, hidrológico y de socavación, se debe cumplir con las especificaciones mínimas estipuladas en el numeral 2.6 de la (CCP-14(INVIAS), 2014). Para su desarrollo existente diferentes estudios e investigaciones realizados por Entidades, Institutos, Universidades e investigadores a nivel nacionales e internacionales en esta área, tales como: (American Association of State Highway and Transportation, 2005), (Instituto Nacional de Vías, 2006), (Valbuena & Salgar, 2012), (Suárez, 2001), (García, 1992),(Richardson & Davis, 2001), (United States Department of Agriculture, 1998),(Melville & Coleman, 2000), (Guevara Alvarez María, 2001), (American Association of State Highway and Transportation, 2011), (Muñoz, 2012), entre otros.

Se deben determinar los niveles de socavación general y localizada del puente. La socavación general, es la que ocurre en toda la sección del puente, de tal manera que a largo y corto plazo produce un descenso de todos los puntos. Es un fenómeno que no depende de un obstáculo como un puente u otro tipo de estructura. Ocurre como consecuencia de las deformaciones del lecho debidas a los procesos morfológicos que se puedan presentar en el tramo de influencia del puente durante su vida útil. Y la socavación localizada puede ser por contracción que se debe a la presencia del puente y ocurre debido al estrechamiento del flujo por la construcción de la estructura. Y también socavación local en la cimentación de estribos y pilas (Ver Figura 2 - 26).

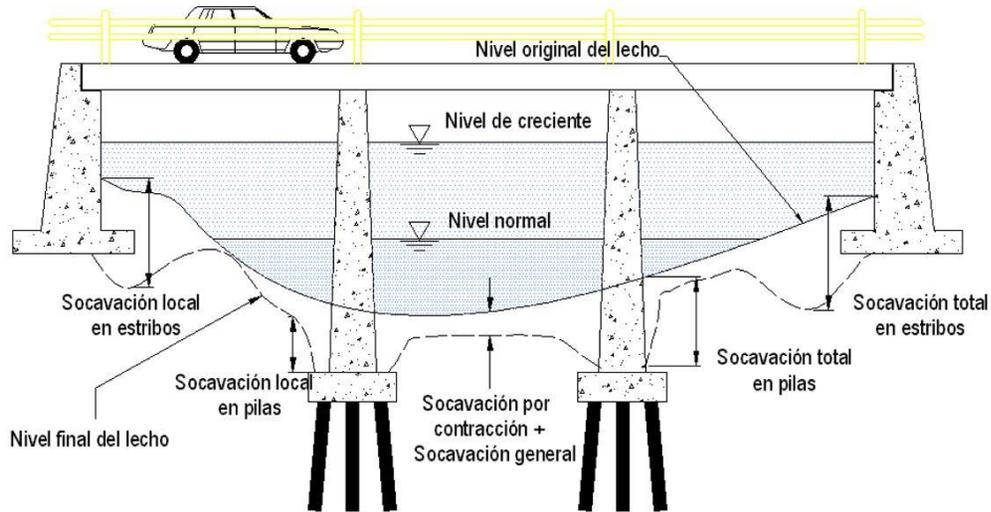


Figura 2 - 28. Tipos de socavación que pueden ocurrir en un puente. Fuente: tomado de las referencias (Valbuena & Salgar, 2012) y (Melville & Coleman, 2000) e incluida en la referencia (Muñoz, 2012)

De acuerdo con (CCP-14(INVIAS), 2014), dicho estudio debe incluir datos del sitio, análisis hidrológico e hidráulico, los cuales se describen a continuación.

2.2.3.1 Datos del sitio

Debe incluir la recopilación y el estudio de la siguiente información:

- Recolección de fotografías aéreas y/o terrestres de la ubicación del puente aguas arriba y aguas bajo donde se identifique el canal del cauce principal y sus planicies de inundación como se observa en las Figura 2 - 29 y Figura 2 - 30 . En el tema de socavación y erosión es importante estudiar la etapa geológica del cauce, ya que esta gobierna las características del proceso de arrastre de partículas que incide directamente en este proceso. Es determinante definir, con una opinión profesional, cuál es la edad en la que se encuentra el río sobre el cual se planea hacer el proyecto. Estas edades están clasificadas de acuerdo con el cambio de forma del cauce a través del espacio que recorre un río o sistema fluvial y se pueden dividir en tres zonas –o diferentes etapas– desde su nacimiento hasta la desembocadura: la juventud, la madurez y la vejez. Los patrones del cauce se refieren a la forma de los ríos en planta y al tipo de curvas que se forman en las diferentes zonas durante su recorrido. Normalmente, se dividen en rectos, trenzados y meándricos. Estos patrones se pueden presentar a lo largo de un mismo río, no obstante, la distinción entre ellos no es siempre clara. Por ejemplo, al nivel de aguas máximas, las barras de un río trenzado pueden estar sumergidas y el cauce puede parecer recto. Para clasificar los ríos de acuerdo con

el patrón de sus curvas, se emplea el concepto de sinuosidad. Se define la sinuosidad de un río como la relación entre la longitud del cauce y la longitud del valle que drena.

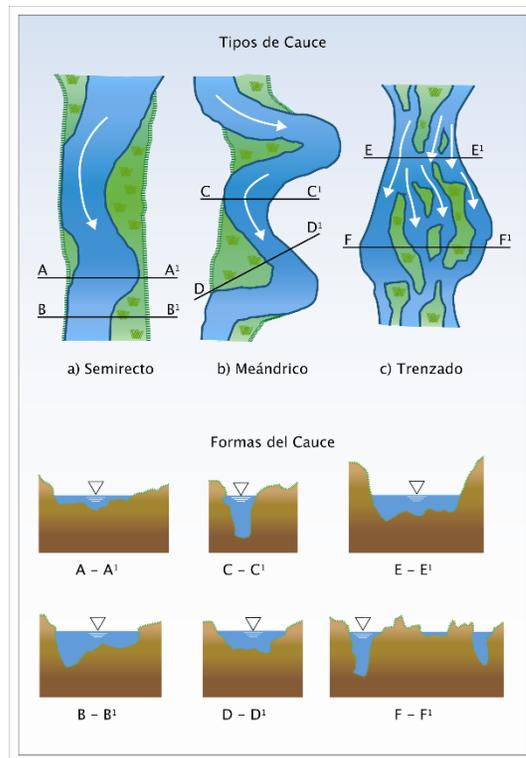


Figura 2 - 29 Patrones del cauce de un río. Fuente: Adaptado de (Suárez, 2001)



Figura 2 - 30 Ejemplo cauces trenzados o errantes. Autorizado para publicar por parte de (Suárez, 2001)

- Estimación de los elementos de rugosidad para la corriente de agua y sus planicies de inundación.
- Estudio de suelos y geotécnico donde se determinen las características y propiedades del material donde se van a cimentar los estribos y pilas.
- Perforaciones subterráneas (si existen)
- Factores que afectan el control del agua, incluyendo niveles de alta corriente, embalses de retención y mareas, estructuras de control de inundaciones, etc.
- Información histórica disponible sobre inundaciones pasadas, erosión de las riberas, avalanchas, etc.
- Posibles cambios geomorfológicos en el flujo del canal.



Figura 2 - 31 Ejemplo de una inadecuada localización. Fuente: (Muñoz, 2012)

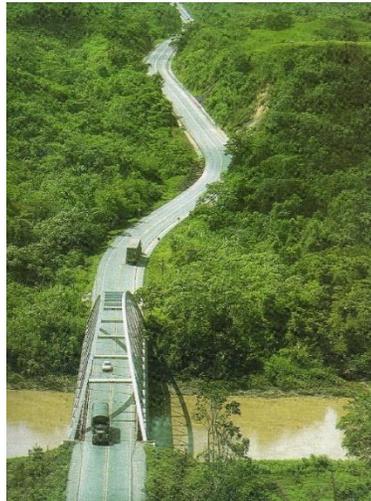


Figura 2 - 32 Ejemplo de una adecuada ubicación. Fuente: (Muñoz, 2012)

2.2.3.2 Análisis hidrológico

Según el numeral 2.6.3 de la norma, el estudio hidrológico depende de la amenaza del sitio. Deben estudiarse los siguientes flujos de inundación cuando sea apropiado en dicho estudio:

- Para evaluar la amenaza de inundación y cumplir con los requisitos de la administración de la planicie de inundación de los 100 años.
- Para evaluar el riesgo de los usuarios de la certeza, los daños en el puente y los terraplenes de acceso, es necesario la inundación de desbordamiento y/o la inundación de diseño para socavación.
- Para investigar las competencias de la cimentación del puente para resistir la socavación que incluye inundación de verificación para socavación.
- Para evaluar daño catastrófico por inundación en sitios de alto riesgo
- Para satisfacer las exigencias de la institución responsable de su administración.
- Para calibrar perfiles de la superficie del agua y para evaluar el funcionamiento de estructuras existentes.
- Para evaluar los aspectos ambientales.

2.2.3.3 Análisis hidráulico

ESTABILIDAD DE LA CORRIENTE

Según el numeral 2.6.4 de la norma, el ingeniero debe utilizar para el análisis hidráulico modelo analíticos reconocidos y aprobados por la entidad. Debe realizarse una evaluación de la estabilidad de la corriente y el impacto que produce en las construcciones sobre estas, como los puentes, para lo cual tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Si el régimen de la corriente está degradándose o agradándose y/o en equilibrio,
- Para cruces de la corriente cerca de afluentes, el efecto de la corriente principal y del afluente las etapas de inundación, las velocidades, distribución de los flujos, movimientos verticales y horizontales de la corriente, y el efecto de estas condiciones sobre el diseño hidráulico sobre el puente.
- Localización de cruces favorables sobre la corriente, teniendo en cuenta si la corriente es recta en meandros, trenzado transicional, o mecanismos de control para proteger el puente de condiciones existentes o futuras que puedan anticiparse.
- El efecto de cualquier cambio en el canal.
- El efecto en el cauce de la explotación de agregados u otra operación.
- Cambios potenciales en la tasa o volumen de la escorrentía debido a cambios en el uso de la tierra.
- El efecto de cambios en el patrón natural geomorfológico de la corriente sobre la estructura propuesta.
- El efecto de los cambios geomorfológico sobre la estructura existente en la vecindad de la estructura propuesta o causada por esta.

Para condiciones inestables de la corriente o flujo, deberán realizarse estudios especiales para evaluar los cambios futuros probables en la forma en planta o perfil de la corriente y para determinar las medidas de mitigación que se incorporarán en el diseño, o en un tiempo futuro para la seguridad del puente y los terraplenes de acceso.

VIA ACUÁTICA DEL PUENTE

Esta parte de incluir según el numeral 2.6.4.3 de la norma:

- La evaluación de patrones de flujo de inundaciones en el canal principal y en la planicie de inundación para las condiciones existentes.
- La combinación de condiciones de prueba de perfiles, alineaciones de carreteras y longitudes del puente que sean consistentes con los objetivos del diseño.

Cuando se haga uso de estudios existentes de inundaciones, debe determinarse su precisión.

CIMENTACIONES DEL PUENTE

Debe existir una coordinación entre los aspectos estructurales hidráulicos y geotécnicos de diseño de las cimentaciones de los componentes de la subestructura, y debe resolverse las diferencias antes de la aprobación de los planos preliminares.

SOCAVACIÓN

La socavación se investiga para dos condiciones, tal como lo indica el artículo 3.7.5 de la norma.

- Para las inundaciones de diseño para socavación, debe suponerse para las condiciones de diseño, que el material del cauce por encima de la línea de socavación total ha sido removido. La inundación de diseño, de creciente, de marea o de composición mixta debe ser la más severa de los eventos de los 100 años o de una inundación de desbordamiento con un periodo de recurrencia menor.
- Para la inundación de verificación por socavación, la estabilidad de las cimentaciones del puente debe investigarse para las condiciones de socavación que resulten de una determinada inundación de creciente de tormenta, de marea o composición mixta que no exceda el evento de los 500 años o de una inundación de desbordamiento con menor periodo de recurrencia, No es necesaria una reserva en acceso de la requerida por estabilidad bajo esta condición. Debe aplicarse el estado límite de evento extremo.

2.2.3.4 Cimentaciones y remoción de masa

2.2.3.5 Disposiciones del sitio del puente

2.3 REFERENCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, A. (2010). *Contrato de Concesión de obra pública No. 002 del 14 de enero de 2010 de CONSORCIO VIAL HELIOS*.
- American Association of State Highway and Transportation, A. (2005). “*Model Drainage Manual*”,.
- American Association of State Highway and Transportation, A. (2011). *The manual for Bridge Evaluation. Second Edition Washington*,.
- Cadavid, E., Victoria, V., & Moure. (2004). *Puente del Común, Historia y Restauración*. In *Editorial Escala*.
- CCP-14(INVIAS). (2014). *Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes – CCP-14. Norma de desarrollada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica Colombia*, .
- García, L. (1992). *Estudio y solución de fallas de la infraestructura de puentes,” Curso de Patología de Estructuras, Asociación de Ingenieros Civiles de la Universidad Nacional de Colombia*.
- Guevara Alvarez María, E. (2001). *SOCAVACIÓN EN PUENTES”, Universidad del Cauca , volumen I*.
- Instituito Nacional de Vías, I. (2011). *ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA AGUACLARA - OCAÑA - SARDINATA - ASTILLEROS – CÚCUTA RUTA 70 EN NORTE DE SANTANDER*. Bogotá, Colombia, 2011.
- Instituto Nacional de Vías. (2006). *Socavación y protección contra socavación - Sistema de Administración de Puentes de Colombia (Sipucol)*.
- Instituto Nacional de Vías, I. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*.
- Instituto Nacional de Vías, I. (2013). *ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VIA AGUACLARA - OCAÑA - SARDINATA - ASTILLEROS – CÚCUTA RUTA 70 NORTE DE SANTANDER”, Desarrollado por la empresa consultora Ayesa*.
- Instituto Nacional de Vías, I. (2016). *Construcción de la segunda calzada Primavera (PR95+000) - (PR88+100) en el departamento de Antioquia”, Desarrollado por la empresa consultora Pavimentos de Colombia*.
- Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge scour. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications*.
- Muñoz, E. (2012). *Ingeniería de puentes : Tomo I: Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación. Tomo II: Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga - Publicado por la Pontificia Universidad Javerina*.
<https://www.worldcat.org/title/ingenieria-de-puentes-tomo-i-resena-historica-tipologia-diagnostico-y-recuperacion-tomo-ii-colapso-inspeccion-especial-socavacion-vulnerabilidad-sismica-y-capacidad-de-carga/oclc/1026938143>
- Richardson, E., & Davis, S. (2001). *Evaluating scour at bridges”, FHWA NHI 01-001 HEC-18, Arlington, Virginia*.
- Rosillo, L., Betancourt, B., Sepúlveda, & Cataño. (2009). *Nuevas tendencias de puentes en Colombia*.
- Suárez, D. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander*.
- United States Department of Agriculture, T. & D. P. (1998). *Bridge Scour Evaluation: Screening, Analysis & Countermeasures, ” USA*.
- Valbuena, E., & Salgar, A. (2012). *Guía práctica para la estimación de la socavación de cauces bajo puentes,” Tesis de Grado (Meritoria) para optar al título de Ingeniero*

Civil - Pontificia Universidad Javeriana,.
Wittfoht, H. (1975). *Puentes. Ejemplos internacionales.*