

Febrero 2017

UNC
FCEFyN



PRÁCTICA SUPERVISADA INFORME TÉCNICO FINAL CIERRE AVENIDA DE CIRCUNVALACIÓN



Distribuidor RP N° 5 – Distribuidor “El Tropezón” – Tramo 1A

FLORENCIA NOEL SOLER

Carrera: Ingeniería Civil

Tutora Interna: Ing. Mgter. Graciela Berardo

Tutor Externo: Ing. Leandro José Bande

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	- 6 -
2	RESUMEN INTRODUCTORIO	- 7 -
3	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	- 8 -
3.1	INFORMACIÓN DISPONIBLE	- 8 -
3.1.1	UBICACIÓN.....	- 8 -
3.1.2	ENTORNO	- 9 -
3.1.2.1	Geografía	- 9 -
3.1.2.2	Clima.....	- 10 -
3.2	TOPOGRAFÍA DE DETALLE	- 10 -
3.3	HISTORIA Y PROYECTO.....	- 11 -
4	GENERALIDADES DEL PROYECTO	- 13 -
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	- 13 -
5	DISEÑO GEOMÉTRICO	- 16 -
5.1	CONDICIONANTES DE DISEÑO	- 16 -
5.1.1	TRÁNSITO	- 16 -
5.1.2	LOCALIZACIÓN	- 17 -
5.2	VELOCIDAD DE DISEÑO	- 17 -
5.3	DISTANCIAS DE VISIBILIDAD	- 18 -
5.3.1	DISTANCIA VISUAL DE DETENCIÓN (DVD).....	- 18 -
5.3.2	DISTANCIA VISUAL DE ADELANTAMIENTO (DVA).....	- 20 -
5.3.3	DISTANCIA VISUAL DE DECISIÓN (DVDE).....	- 21 -
5.4	ALINEAMIENTOS.....	- 22 -
5.4.1	DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	- 23 -
5.4.1.1	Rectas	- 23 -
5.4.1.2	Curvas Circulares.....	- 23 -
5.4.1.3	Peralte y Radio	- 24 -
5.4.1.4	Clotoide.....	- 27 -
5.4.2	DISEÑO DEL ALINEAMIENTO ALTIMÉTRICO	- 28 -
5.4.2.1	Rasante	- 28 -
5.4.2.2	Pendientes	- 29 -
5.4.2.3	Curvas Verticales.....	- 30 -
5.5	PARAMETROS GEOMÉTRICOS MÍNIMOS	- 33 -
5.6	SECCIÓN TRANSVERSAL	- 34 -
5.6.1	ELEMENTOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	- 34 -
5.6.1.1	Calzada (C) – Carriles	- 35 -
5.6.1.2	Costados del camino (CDC) – Zona despejada (ZD).....	- 36 -
5.6.1.3	Banquinas	- 38 -
5.6.1.4	Taludes.....	- 39 -

5.6.1.5	Cunetas	- 40 -
5.6.1.6	Contrataludes.....	- 41 -
5.6.1.7	Medianas o cantero central.....	- 41 -
5.6.1.8	Zona decamino.....	- 42 -
5.6.2	SECCIONES TIPO DEL PROYECTO	- 43 -
6	<u>DISTRIBUIDORES.....</u>	- 45 -
6.1	INTRODUCCIÓN	- 45 -
6.1.1	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	- 45 -
6.2	FACTORES A CONSIDERAR	- 45 -
6.3	ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO	- 46 -
6.3.1	UBICACIÓN.....	- 46 -
6.3.2	ALTURAS RELATIVAS	- 46 -
6.3.3	COTAS DE RASANTES	- 47 -
6.3.4	CAPACIDAD	- 48 -
6.3.5	DISEÑO GEOMÉTRICO	- 48 -
6.4	TIPOS DE DISTRIBUIDORES.....	- 48 -
6.4.1	SEPARACIÓN ENTRE INTERCAMBIADORES	- 50 -
6.5	RAMAS Y/O ENLACES.....	- 50 -
6.5.1	SEPARACIÓN ENTRE RAMAS.....	- 51 -
6.5.2	PERFILES TRANSVERSALES DE RAMAS.....	- 52 -
6.5.2.1	Zonas adyacentes al comienzo de las ramas de salida.....	- 52 -
6.5.3	CONEXIONES	- 54 -
6.5.4	CARRILES DE DECELERACIÓN Y ACELERACIÓN	- 55 -
6.6	CALLES Y CAMINOS SECUNDARIOS	- 59 -
6.7	DISTRIBUIDOR RUTA PROVINCIAL N°5	- 59 -
6.8	DISTRIBUIDOR BAZÁN	- 60 -
7	<u>DRENAJE.....</u>	- 61 -
7.1	SISTEMA DE DRENAJE	- 61 -
7.2	ESTUDIO DE CUENCAS – DATOS BASE	- 62 -
7.2.1	DELIMITACIÓN DE CUENCAS	- 62 -
7.2.2	DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS.....	- 65 -
7.2.3	PARÁMETROS FÍSICOS.....	- 65 -
7.2.4	PARÁMETROS HIDRÁULICOS – TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	- 66 -
7.2.5	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS.....	- 66 -
7.2.6	PRECIPITACIÓN – CURVAS IDF.....	- 66 -
7.2.7	CÁLCULO DEL CAUDAL PICO.....	- 68 -
7.3	OBRAS DE ARTE – DIMENSIONADO DE CUNETAS	- 69 -
7.4	OBRAS DE ARTE – DIMENSIONADO DE ALCANTARILLAS.....	- 70 -
8	<u>CONCLUSIONES</u>	- 76 -
9	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	- 77 -

9.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 77 -
9.2	PÁGINAS WEB	- 77 -
10	ANEXOS	- 78 -

Anexo N°1: Planimetría General - Tránsito Año 2015

Anexo N°2: Proyección Tránsito Año 2015

Anexo N°3: Planos viales de licitación

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Ubicación</i>	- 8 -
<i>Ilustración 2. Entorno</i>	- 9 -
<i>Ilustración 3. Lo previsto y lo propuesto</i>	- 12 -
<i>Ilustración 4. Tramo 1A</i>	- 13 -
<i>Ilustración 5. Intercambiador Ruta Provincial N°5</i>	- 14 -
<i>Ilustración 6. Cruce a distinto nivel</i>	- 14 -
<i>Ilustración 7. Intercambiador Bazán</i>	- 15 -
<i>Ilustración 8. Sistematizaciones futuras</i>	- 15 -
<i>Ilustración 9. Distancia Visual de Detención</i>	- 19 -
<i>Ilustración 10. Esquema para el cálculo de la DVA</i>	- 21 -
<i>Ilustración 11. Representación tridimensional de un camino</i>	- 22 -
<i>Ilustración 12. Planialtimetría</i>	- 23 -
<i>Ilustración 13. Fuerzas actuantes sobre un vehículo que circula por una curva horizontal</i>	- 24 -
<i>Ilustración 14. Transición del peralte</i>	- 26 -
<i>Ilustración 15. Clotoide</i>	- 27 -
<i>Ilustración 16. Elementos de la curva simple con transiciones</i>	- 27 -
<i>Ilustración 17. Longitudes críticas de pendiente para camión con relación peso/potencia=134 kg/hp y para un vehículo recreacional</i>	- 30 -
<i>Ilustración 18. Parábola cuadrática</i>	- 30 -
<i>Ilustración 19. Elementos de la parábola cuadrática</i>	- 31 -
<i>Ilustración 20. DVD para curvas verticales convexas en operación diurna</i>	- 32 -
<i>Ilustración 21. DVD para curvas verticales cóncavas en operación nocturna</i>	- 33 -
<i>Ilustración 22. DVD bajo estructura en operación nocturna</i>	- 33 -
<i>Ilustración 23. Sección de un camino de dos carriles indivisos</i>	- 34 -
<i>Ilustración 24. Formas del perfil de la calzada</i>	- 36 -
<i>Ilustración 25. Costados del camino – Zona despejada</i>	- 36 -
<i>Ilustración 26. Factores de corrección por curva horizontal</i>	- 37 -
<i>Ilustración 27. Clasificación de condiciones de seguridad de taludes</i>	- 40 -
<i>Ilustración 28. Sección transversal recomendada en cunetas de cambio brusco de pendientes</i>	- 41 -
<i>Ilustración 29. Sección transversal recomendada en cunetas de cambio gradual de pendientes</i>	- 41 -
<i>Ilustración 30. Perfil tipo calzada principal con carriles de cambio de velocidad</i>	- 43 -
<i>Ilustración 31. Perfil tipo ramal directo</i>	- 43 -
<i>Ilustración 32. Perfil tipo rotondas</i>	- 44 -
<i>Ilustración 33. Perfil tipo calles colectoras</i>	- 44 -
<i>Ilustración 34. Distribuidor tipo trébol de cuatro hojas con trochas adicionales en zona de intercambio</i>	- 49 -
<i>Ilustración 35. Distribuidor tipo Diamante Simple</i>	- 50 -
<i>Ilustración 36. Detalle de narices según Plano Tipo OB2 de la DNV</i>	- 53 -
<i>Ilustración 37. Detalles de carriles de aceleración y deceleración según Plano Tipo OB2 de la DNV</i>	- 58 -
<i>Ilustración 38. Estado actual de la zona del Distribuidor Bazán</i>	- 60 -
<i>Ilustración 39. Cuencas naturales utilizando QGIS</i>	- 63 -
<i>Ilustración 40. Cuencas naturales utilizando QGIS y carta catastral</i>	- 63 -
<i>Ilustración 41. Cuencas naturales utilizando QGIS y datos del desague pluvial</i>	- 64 -

<i>Ilustración 42. Cuencas reales</i>	- 64 -
<i>Ilustración 43. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapecial</i>	- 69 -

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Velocidad de diseño en caminos rurales</i>	- 18 -
<i>Tabla 2. DVDE en función de V</i>	- 22 -
<i>Tabla 3. Peraltes máximos (emáx)</i>	- 25 -
<i>Tabla 4. Parámetros geométricos mínimos</i>	- 34 -
<i>Tabla 5. Bombeos Normales</i>	- 35 -
<i>Tabla 6. Ejemplos de ZD en recta</i>	- 38 -
<i>Tabla 7. Anchos parciales y totales de banquetas externas</i>	- 39 -
<i>Tabla 8. Clasificación de condiciones de seguridad de taludes</i>	- 40 -
<i>Tabla 9. Anchos mínimos para zonas de camino (en metros)</i>	- 42 -
<i>Tabla 10. Anchos de enlace según Plano Tipo OB2 de la DNV</i>	- 52 -
<i>Tabla 11. Relaciones entre velocidad directriz de autopista y velocidad de diseño en ramas</i>	- 54 -
<i>Tabla 12. Longitudes de carriles de deceleración y aceleración según Plano Tipo OB2 de la DNV</i>	- 57 -
<i>Tabla 13. Factores de corrección para pendientes > 2% según Plano Tipo OB2 de la DNV</i>	- 57 -
<i>Tabla 14. Parámetros físicos de las cuencas</i>	- 65 -
<i>Tabla 15. Tiempos de concentración</i>	- 66 -
<i>Tabla 16.</i>	- 67 -
<i>Tabla 17. Caudales pico</i>	- 69 -
<i>Tabla 18. Características y Verificación de Cunetas Externas</i>	- 70 -
<i>Tabla 19. Características y Verificación de Cunetas Internas</i>	- 70 -
<i>Tabla 20. Caudales de diseño y verificación para cuencas propias</i>	- 71 -

1 INTRODUCCIÓN

Este Informe Técnico Final es el resultado de las tareas realizadas en el desarrollo de la materia Práctica Supervisada de la carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Dicha Práctica fue realizada en el Estudio de Ingeniería “Vanoli y Asociados Ingeniería S.R.L.” durante los meses Agosto, Septiembre y Octubre del corriente año, desempeñando tareas profesionales de la Ingeniería Civil, dentro de un grupo de trabajo en el ámbito del Diseño Geométrico Vial.

Para el seguimiento en la ejecución de la práctica, se designaron como tutores interno y externo, a la Ingeniera Magister Graciela Berardo de la Universidad Nacional de Córdoba y al Ingeniero Leandro José Bande de la empresa, respectivamente.

Los trabajos ejecutados corresponden principalmente al diseño geométrico, a nivel de anteproyecto, de un tramo del Cierre de Avenida de Circunvalación de la Ciudad de Córdoba. Incluyendo el diseño digital del modelo, como la confección de diversos planos y documentos necesarios para la presentación a las entidades correspondientes, formando parte de un equipo de trabajo.

Los objetivos de la Práctica Profesional pueden dividirse en Personales, referidos a las experiencias adquiridas; y Profesionales, los que se tratan en el informe, tales como:

- Completar la formación académica con experiencia laboral asesorada y supervisada en la empresa.
 - Integrarse y aprender a trabajar en un grupo de trabajo conformado por profesionales y técnicos de distintas especialidades en el desarrollo de un proyecto de ingeniería específico.
 - Afianzar, profundizar y ampliar los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridos durante el cursado de la carrera para aplicarlos a un proyecto.
 - Desarrollar criterio para la solución de diversos problemas propios de la actividad profesional.
 - Seleccionar con criterio el material bibliográfico a consultar durante la ejecución de las tareas correspondientes.
 - Aprender y afianzar el conocimiento de software necesario para desarrollar modelos útiles en el diseño vial.
-
- Comprender la responsabilidad que implica el desarrollo de una actividad profesional y de cada decisión tomada en un proyecto.
 - Ser consciente sobre los plazos de entrega y los conceptos técnico-económicos que se manejan en este tipo de obras.
 - Elaborar planos, documentos técnicos e informes que permitan transmitir las conclusiones obtenidas de manera clara y completa.
 - Comprender el proyecto de manera global a partir del análisis e interpretación de la información disponible como planos, bibliografía y estudios varios, proyectos previos, etc.
 - Entender el protagonismo del problema a resolver dentro del entorno global del proyecto y cómo se relaciona éste con los demás componentes del mismo.
 - Adquirir las herramientas profesionales para discutir sobre cuestiones particulares del proyecto, explicar las decisiones adoptadas que hacen a la funcionalidad del proyecto.

2 RESUMEN INTRODUCTORIO

El objetivo principal de la obra de cierre de Av. De Circunvalación es finalizar esta importante arteria que circula alrededor de la Ciudad de Córdoba y forma parte de la Red de Accesos a Córdoba (RAC) facilitando la conectividad de la ciudad y la provincia, teniendo un gran impacto en el sector productivo y de turismo.

Este informe solo contempla un tramo de la obra de cierre, de aproximadamente 2,5 km, al sur de la Ciudad de Córdoba.

En el punto 3 se desarrolla la recopilación y análisis de la información, con respecto a su ubicación, entorno, topografía de detalle; y por ultimo su historia y proyecto (completo).

Luego, en el punto 4, se explican las generalidades del proyecto con una descripción de cada parte del mismo.

En el siguiente punto se desarrolla todo lo relativo al diseño geométrico, sus condicionantes y velocidad de diseño, distancias de visibilidad y alineamientos que definen los parámetros geométricos mínimos a utilizar. Finaliza con la sección transversal y sus elementos.

Aparte del diseño geométrico, en el punto 6 se trata el tema de los distribuidores, debido a su importancia dentro del diseño de autopistas y a que en el tramo objeto de este informe son las obras viales más importantes.

Antes de llegar a las conclusiones se desarrolla todo lo que comprende el drenaje, el estudio de las cuencas para determinar el caudal pico de diseño, el dimensionado de las obras de arte, cunetas y alcantarillas. Este aspecto es muy importante dentro del diseño geométrico de un camino.

3 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

3.1.1 Ubicación

El proyecto se localiza al Sur - Oeste de la Ciudad de Córdoba, capital de la Provincia de Córdoba. La Ciudad de Córdoba se encuentra ubicada en la región central de Argentina, a ambas orillas del Río Suquia. Es la segunda ciudad más poblada después de Buenos Aires y la más extensa del país. Córdoba se constituye en un importante centro cultural, económico, educativo, financiero y de entretenimiento de la región.



Ilustración 1. Ubicación

3.1.2 Entorno

El entorno donde se desarrolla el proyecto es de gran importancia en el momento del diseño geométrico, ya que condiciona al mismo, tanto en planta como en alzado.

3.1.2.1 Geografía

Córdoba está ubicada en la región argentina conocida como llanura pampeana, en el límite con las Sierras Pampeanas, al pie del monte. La mancha urbana se extiende sobre ambas márgenes del Río Suquía, cubriendo el territorio sobre la primera y segunda barranca. Las mismas son de loess y fueron erosionadas por el río en tiempos remotos, siendo su relieve ligeramente ondulado. En el trazado urbano se mezclan zonas llanas, pendientes suaves y colinas bajas.

De acuerdo a las leyes provinciales N° 778 (1878), N° 927 (1883), N°1295 (1893), el ejido es un cuadrado de 24 km de lado, totalizando un área de 576 km². Sus límites están a 12 km de la Plaza San Martín, centro de la ciudad.

Linda al norte con el departamento Colón, al este con el departamento Colón (norte del Río Suquía) y el departamento Santa María (al sur del Río Suquía). Al sur limita con el departamento Santa María, y al oeste con el departamento Santa María (al sur del Río Suquía) y el departamento Colón (al norte del Río Suquía). Córdoba está delimitada al norte por el paralelo 31°18'30" S, al este por el meridiano 64°03'27" O, al sur por el paralelo 31°31'30" S y al oeste por el meridiano 64°18'35" O, con una altura sobre el nivel del mar entre los 352 msnm (hacia el este, en la intersección del Río Suquía con el límite este) y los 544 msnm (en el vértice suroeste de la ciudad).

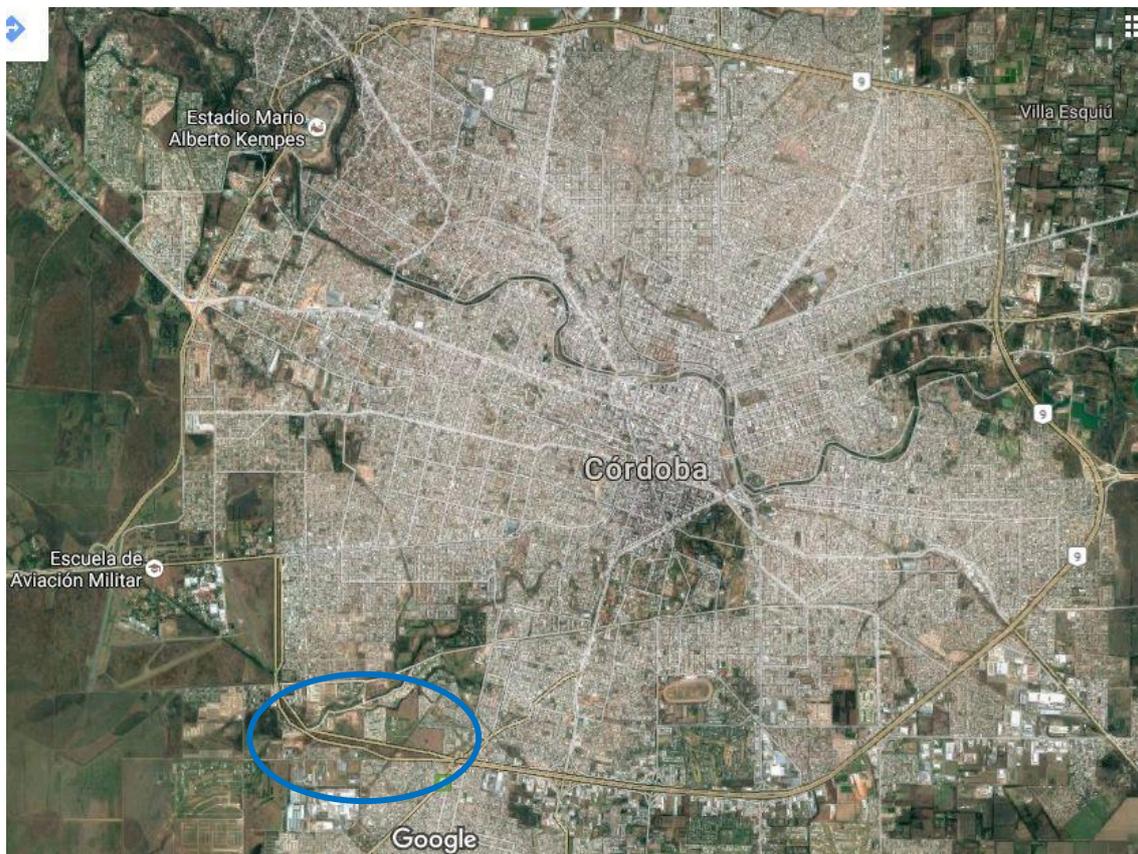


Ilustración 2. Entorno

El Río Suquía o Primero atraviesa el ejido municipal en sentido noroeste a este. Por otro lado, el arroyo La Cañada transcurre en sentido suroeste a norte y desemboca en dicho río, en la zona céntrica. Este arroyo fue encauzado en los años 1930 ya que provocaba recurrentes y desastrosas inundaciones. La ciudad se extiende sobre ambos márgenes y es atravesado por otros cursos de agua menores, como el Arroyo El Infiernillo.

3.1.2.2 Clima

El clima de la Ciudad de Córdoba es templado subtropical húmedo con invierno seco, clima también conocido como pampeano. Los veranos son húmedos, con días calurosos y noches templadas. Los vientos del este y del oeste son raros, de corta duración y poca intensidad. En primavera soplan con fuerza creciente principalmente del norte y el noroeste a medida que un centro de depresión ciclónica se define en el frente polar. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas con viento y granizo.

Factores para que la temperatura sea en promedio algo más fresca que en otros sitios del planeta a latitudes semejantes son: la altitud y, sobre todo, el ubicarse la provincia en la diagonal eólica de los vientos pamperos, vientos fríos que soplan desde el cuadrante sudoeste, originados en la Antártida.

Dada la extensión del conurbano, existe una diferencia considerable entre el área céntrica y la periferia. El área céntrica, densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor. Además presenta fenómenos de esmog, sin consecuencias para la salud.

3.2 TOPOGRAFÍA DE DETALLE

El *levantamiento topográfico* es la realización de un muestreo de puntos del terreno que sean representativos del relieve del terreno natural, es decir, la determinación de la posición (x, y, cota) de puntos característicos del terreno. Esto tiene como objeto la construcción del *Modelo Digital de Elevaciones (MDE)* que es una maqueta digital del terreno, una estructura numérica de datos, que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

Por otro lado, el *relevamiento de detalles* tiene como objeto capturar la información existente en el terreno, que requiera el proyectista para el diseño geométrico, el proyecto hidráulico, o información dominial (por si es necesario expropiar terrenos). La información capturada, procesada en un programa CAD¹, acoplada al modelo digital de elevaciones genera el *Modelo Digital del Terreno (MDT)*.

En la práctica, el levantamiento topográfico y el relevamiento de detalles se realizan en forma conjunta, se registran puntos del relieve y la información de manera simultánea. Tanto los puntos necesarios para generar el modelo digital, como los puntos que transmiten la información pueden ser obtenidos en forma directa mediante un levantamiento en el terreno, o de forma indirecta.

Para el proyecto de este informe, el levantamiento topográfico y el relevamiento de datos se realizó con un método directo de posicionamiento con GPS diferencial con RTK², en el año 2011.

¹ CAD: siglas en inglés para diseño asistido por computadoras

² RTK: siglas en inglés para navegación cinemática en tiempo real

El método de levantamiento mediante GPS-RTK en tiempo real consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cms+1ppm). Usualmente se aplica a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo esta en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras que el receptor móvil, es el receptor en movimiento del cual se determinan las coordenadas en tiempo real. Su transmisión precisa un sistema de telecomunicaciones, vía radio modem o GSM GPRS, entre el receptor fijo y el móvil. Sus aplicaciones son muchas en la topografía, desde el levantamiento hasta replanteos en tiempo real.

3.3 HISTORIA Y PROYECTO

Para comenzar a entender el proyecto, hay que saber que una carretera de circunvalación es una avenida o autopista que circula alrededor o dentro de una ciudad o área metropolitana, rodeándola total o parcialmente, con el fin de que los vehículos que realicen una ruta, sin intención de entrar en ella, eviten atravesarla en ese recorrido.

La Ruta Nacional A-019, Avenida de Circunvalación Agustín Tosco, es la autopista de circunvalación de la Ciudad de Córdoba y forma parte de la Red de Accesos a Córdoba (RAC). Su origen se da en el año 1969, cuando los representantes provinciales y nacionales de las Direcciones de Vialidad firman un convenio que daría inicio a su construcción para el año 1970, con el objetivo de mejorar la accesibilidad a la ciudad y evitar el cruce de tránsito pesado por la misma.

Actualmente, la traza no ha sido completamente ejecutada, extendiéndose desde la intersección con Av. Spilimbergo al norte, hasta la Av. Armada Argentina (Ruta Provincial N°5) al sur, dejando el cuadrante oeste del anillo sin ejecutar. Dicho cuadrante se ha subdividido en tramos y secciones para su rediseño, licitación y ejecución.

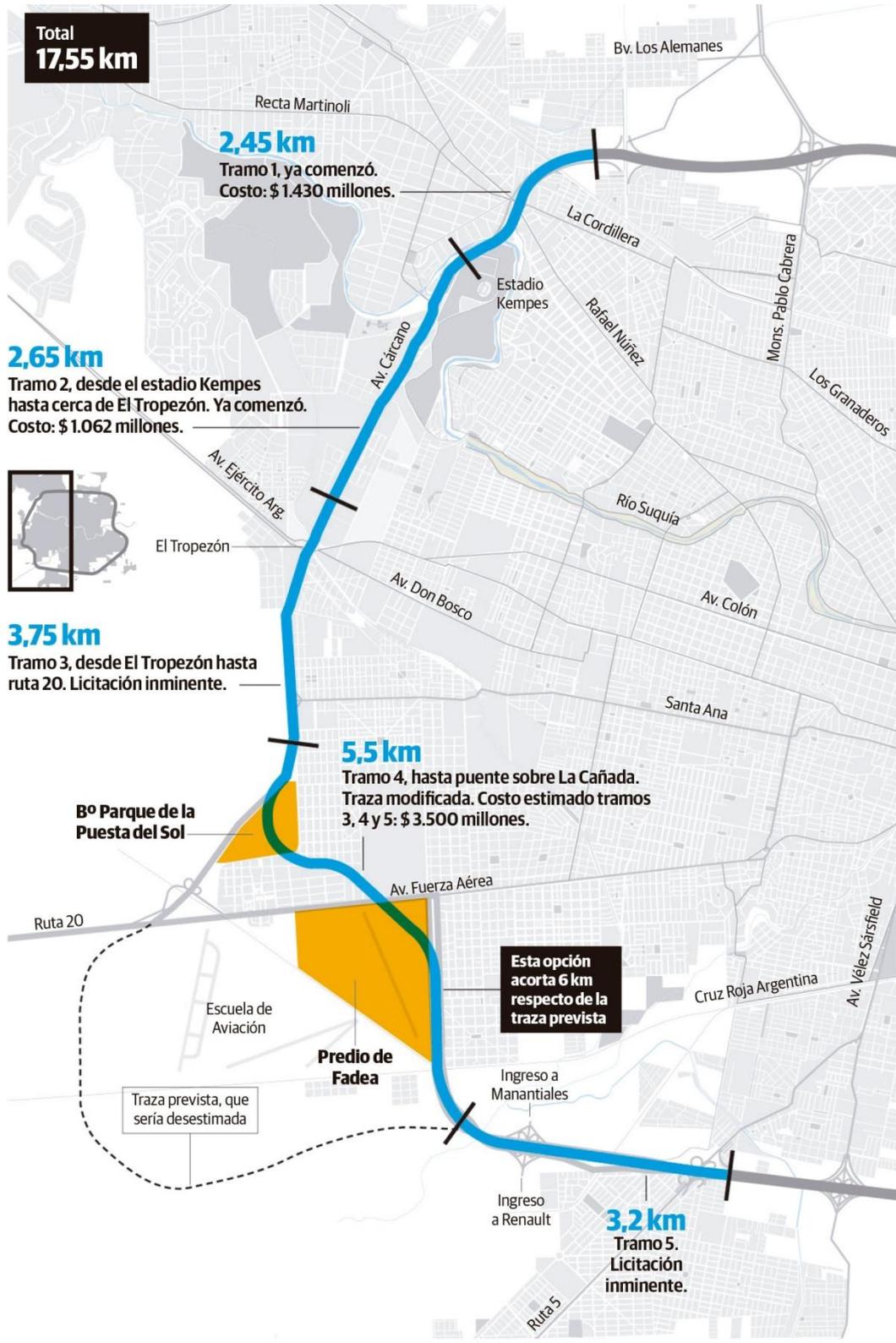
Si se concreta la nueva traza, se construirán 17,55 kilómetros, con lo que el anillo completo de la Circunvalación recorrerá 47 kilómetros de autopista.

Los dos primeros tramos ya comenzaron a construirse, desde la intersección con Av. Spilimbergo hasta cerca del nudo vial “El Tropezón”. El tramo 3 será bastante similar a la que actualmente ocupa la denominada Variante Pueyrredón, pero sumará colectoras, por lo que se necesita de la cesión de 27 hectareas de tierra militar.

En el cuarto tramo, desde ruta 20 hasta el puente de arroyo La Cañada, se propusieron cambios respecto de la traza que se había establecido hace más de una década. A los fines de acortar 6 kilómetros, se descartó la opción de rodear la Escuela de Aviación y, en cambio, se propuso que la circunvalación pase por dentro del predio de FAdeA (cerca de la pista, pero sin inhabilitarla), y a través de tierras de la Municipalidad de Córdoba que estaban reservadas para un parque que nunca se concretó.

El último tramo, que corresponde al proyecto de este informe, va desde La Cañada hasta la ruta a Alta Gracia, terminando el anillo. Incluye intercambiadores en Estación Bazán, que permitirán un acceso directo a la planta Renault, en santa Isabel, y también un acceso a Circunvalación desde la megaurbanización Manantiales. Además, en un futuro se prevé un acceso en altura desde ruta 5 a Villa El Libertador, para solucionar los problemas de tránsito frente al CPC de ese barrio de la zona sur de la Ciudad de Córdoba.

En la imagen que sigue, se pueden observar los tramos, y lo previsto y lo propuesto con respecto al proyecto de Cierre de Avenida de Circunvalación.



Fuente: Ministerio de Obras y Servicios Públicos - Dirección Provincial de Vialidad.

LA VOZ DEL INTERIOR

Ilustración 3. Lo previsto y lo propuesto

4 GENERALIDADES DEL PROYECTO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este informe comprende el quinto tramo del proyecto de Cierre de Avenida de Circunvalación, en la sección entre progresivas 24+500 (Ruta Provincial N°5) y 26+950 (Cruce Arroyo La Cañada), y se denomina “Cierre de Av. Circunvalación – Tramo 1A”.



Ilustración 4. Tramo 1A

El proyecto se encuadra tipológicamente como autopista, con 3 carriles por sentido de circulación, control total de accesos, intercambiadores para resolver los cruces con otras vías arteriales y calles colectoras.

La sección comprendida involucra dos intercambiadores, un cruce con un ramal ferroviario y el cruce con el arroyo La Cañada.

Partiendo de la progresiva 24+500, se desarrolla la complementación, mediante la incorporación de los ramales faltantes, del intercambiador con la RP N°5 (Av. Armada Argentina), logrando una tipología de “Trébol”, incompleto en el cuadrante Sur-Este debido a limitaciones en el uso de suelo. (Ilustración 5)

En la progresiva 25+400, la traza cruza el ramal ferroviario que abastece a la Planta Renault en el barrio Santa Isabel. Se prevé un cruce a distinto nivel, manteniendo la traza ferroviaria e incorporando calles locales para la vinculación de las colectoras interna y externa, dando además continuidad a la trama vial urbana. (Ilustración 6)

El acceso a la Planta Renault en el barrio Santa Isabel, se efectúa a través de la calle Colonia Impira, para lo cual se diseña un intercambiador tipo trébol frente a la Usina Bazán de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba, el cual se ejecutará parcialmente, omitiendo los rulos y pista segregadas para conformar así, de manera provisoria, un diamante. (Ilustración 7)

El cruce de las calzadas principales por encima del arroyo La Cañada se efectúa mediante la utilización de los puentes actualmente en operación.

De manera complementaria a las obras incluidas en el presente proyecto, y a nivel de diseño conceptual, están previstas las sistematizaciones de las intersecciones urbanas en el cuadrante Norte (Calle Cacheuta) y Sur (calle Lago Argentina) para el intercambiador de la RP N°5. (Ilustración 8)

Asimismo el intercambiador “Bazán” prevé la futura complementación para desarrollar un Trébol completo, con la duplicación de la vía secundaria e incorporación de pistas segregadas para contener los movimientos de entrecruzamientos.

Finalmente, el ancho del cantero central previsto, puede albergar un carril adicional para cada sentido de circulación, para lo cual se deberán ensanchar los viaductos sobre el cruce ferroviario.



Ilustración 5. Intercambiador Ruta Provincial N°5

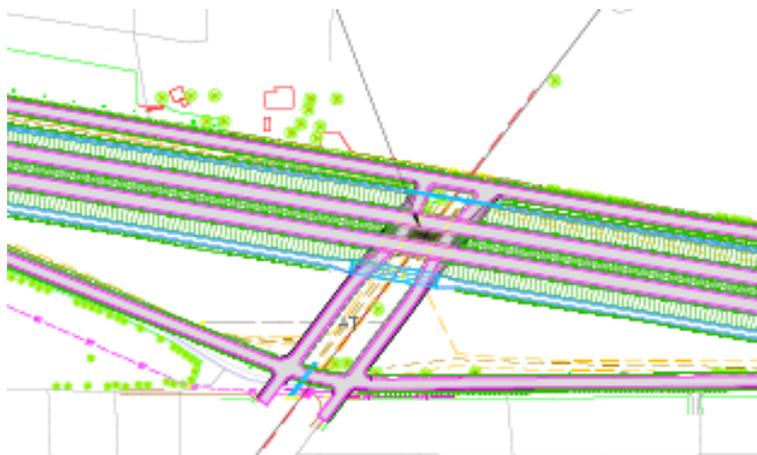


Ilustración 6. Cruce a distinto nivel

Cierre de Avenida de Circunvalación
Distribuidor RP N°5 – Distribuidor “El Tropezón” – Tramo 1A

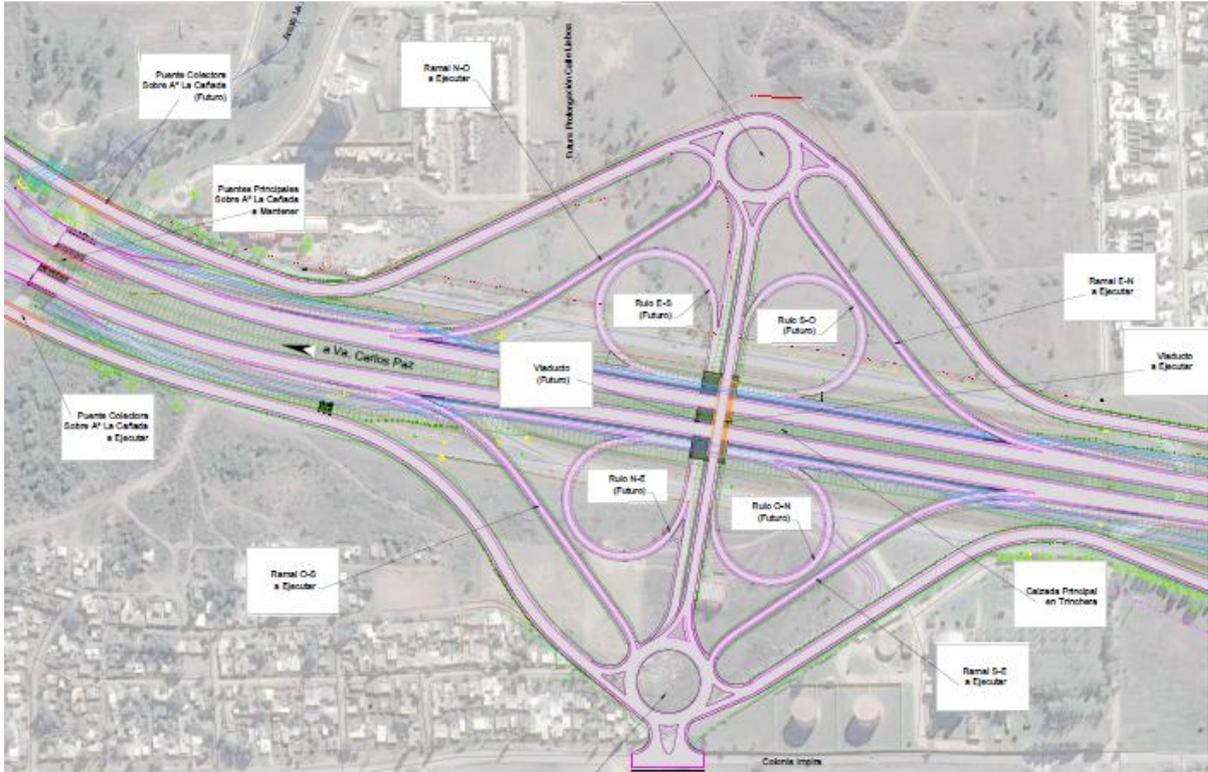


Ilustración 7. Intercambiador Bazán

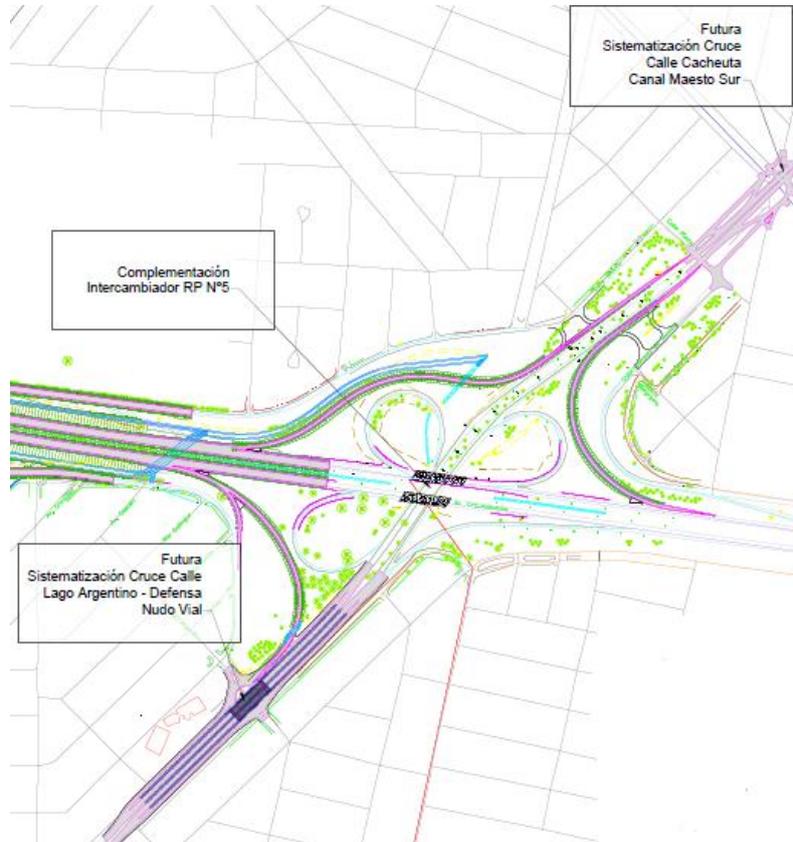


Ilustración 8. Sistemizaciones futuras

5 DISEÑO GEOMÉTRICO

5.1 CONDICIONANTES DE DISEÑO

El proyecto de una obra vial es un proceso técnico, creativo e iterativo por el cual se idean los medios adecuados para satisfacer una necesidad, utilitaria o estética, relacionada con el transporte de bienes y/o personas.

El diseño geométrico comprende el diseño de todas las características visibles de un camino, y para la definición de las mismas necesito saber:

- ¿Para quienes es el camino?: los usuarios quedan definidos en la demanda (TRÁNSITO).
- ¿Dónde?: queda determinado por la configuración del terreno (LOCALIZACIÓN).

Un trazado óptimo es aquel que une dos puntos satisfaciendo la demanda en la forma funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

5.1.1 Tránsito

Para conocer el tránsito en todos sus aspectos, se necesita determinar:

- Volumen: expresado en TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) como el número de vehículos promedio que ha pasado por una sección del camino durante un año, dividido por 365 días. La expresión en TMDA es útil para tareas de planificación y es el criterio que se utiliza para la categorización de las vías.

La vía de este anteproyecto es de categoría Especial, TMDA previsto mayor a 15.000 veh/día, de acuerdo a las Normas vigentes en la Dirección Nacional de Vialidad. Actualmente circulan 46.800 vehículos por día.

En el anexo N°1 se puede observar la planimetría general de la Avenida de Circunvalación dividida en tramos, con sus respectivos TMDA para el año 2015, donde el tramo III es el que corresponde al trabajo de este informe.

Además, en el anexo N°2 se encuentran los resultados del estudio de capacidad y la proyección de 2016 a 2030 del Nivel de Servicio³, en función del crecimiento del TMDA para cada tramo.

- Composición: conocer la composición vehicular, permite definir el *vehículo tipo*. Éste impone condiciones al diseño, especialmente en intersecciones, en función de sus dimensiones, radio de giro y maniobrabilidad.
- Distribución horaria y por sentidos: definen las condiciones de operación del tránsito en las horas pico, para estudiar elementos particulares del diseño y determinar específicamente el volumen de diseño.
- Crecimiento: para conocer el tránsito previsto al año futuro de diseño. Existen muchos procedimientos de cálculo para proyectar el tránsito actual.

³ Nivel de Servicio: medida cualitativa que describe las condiciones de operación dentro de una corriente de tránsito y su percepción por parte de los conductores y/o pasajeros. Escalas de A (Bueno) a F (Malo).

El tránsito futuro define el número de usuarios previstos que utilizarán la vía al final de su vida útil.

Los beneficios de los usuarios se miden como diferencia de sus costos de operación, antes y después del camino, o antes y después de la mejora.

5.1.2 Localización

La localización está condicionada por la naturaleza y las modificaciones ejecutadas por el hombre. Deben contemplarse las características topográficas del terreno, el uso de tierras adyacentes, el desarrollo de la zona atravesada, las características geotécnicas, la integración con el entorno, la necesidad de preservar la integridad social y ambiental, el impacto ambiental que la obra genere, etc.

La obra se encuentra emplazada sobre relieve ondulado, sin embargo, su rasante se ve más condicionada por los cruces a distinto nivel, por lo que en algunos tramos hay desmonte y en otros terraplén. Estos cruces tienen que ver con el desarrollo que ha sufrido la zona con el paso de los años, desde que se diseñó originalmente el proyecto, hasta la actualidad. Es un área urbanizada con uso de suelo industrial y residencial.

5.2 VELOCIDAD DE DISEÑO

El objetivo del diseño de la obra de ingeniería debe ser tener una velocidad que satisfaga la demanda con seguridad, y para ello debe ser estudiada, regulada y controlada para tener un equilibrio entre el móvil, la vía y el usuario.

La *Velocidad Directriz* es la máxima velocidad a la que puede transitar con seguridad, sobre una sección de camino, un conductor de habilidad media manejando un vehículo en buenas condiciones mecánicas, bajo condiciones favorables de: flujo libre, clima, visibilidad y calzada húmeda.

Es la velocidad que define los parámetros mínimos de diseño referidos a distancias visuales, y alineamientos horizontal y vertical. Otros elementos referidos a la sección transversal como el ancho de calzada, banquetas, medianas y zona despejada de peligro están ligados a la velocidad directriz y pueden restringirla.

En función de lo dicho anteriormente, la elección de la velocidad directriz vendrá dada según:

- Configuración del terreno natural
- Volumen de tránsito que circulará por la vía
- Modalidad del conductor: la velocidad adoptada debe ajustarse al deseo de casi todos los conductores, o sea la velocidad a la cual deseen viajar los conductores cuando puedan circular por un camino con entera libertad sin interferencias, y sin que estén afectados por las características de la calzada.

Las Velocidades de Diseño adoptadas fueron:

- Autopista-Calzada Principal 110 km/h
- Ramales Intercambiadores 70 km/h
- Vías Secundarias 60 km/h
- Calles colectoras 60 km/h

A continuación, se encuentra la tabla de velocidades de diseño para caminos rurales en función de la categoría, características básicas y topografía del camino.

Categoría del Camino	Características Básicas			Topografía	Velocidad Directriz (km/h)
	TMDA	Control de Accesos	N° de Trochas		
Especial	≥15000	Total	>(2+2)	Llanura	130
				Ondulada	110
I	5000 a 15000	Total o Parcial	2+2	Llanura	130
				Ondulada	110
				Montañosa	80
II	1500 a 5000	Parcial	2	Llanura	120
				Ondulada	100
				Montañosa	70
III	500 a 1500	Parcial o Sin control	2	Llanura	110
				Ondulada	90
				Montañosa	60
IV	150 a 500	Sin control	2	Llanura	100
				Ondulada	70
				Montañosa	40
V	<150	Sin control	2	Llanura	90
				Ondulada	50
				Montañosa	30

Tabla 1. Velocidad de diseño en caminos rurales
(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

5.3 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Una de las características que contribuye más a la circulación segura, libre de sorpresas y tensiones es contar continuamente con la debida visibilidad para poder anticipar cómodamente las distintas maniobras a realizar.

Distancia visual es la longitud continua, medida sobre la trayectoria normal de marcha de una calzada, hasta donde el conductor de un vehículo ve la superficie de calzada o un objeto de una altura especificada por encima de la calzada, cuando la visibilidad no esté obstruida por el tránsito.

Las distancias visuales mínimas que se definen son:

- *Distancia visual de detención (DVD)*
- *Distancia visual de adelantamiento (DVA)*
- *Distancia visual de decisión (DVDE)*

5.3.1 Distancia Visual de Detención (DVD)

Es la distancia que requiere un conductor de habilidad media manejando a la velocidad directriz un vehículo en condiciones mecánicas aceptables sobre calzada húmeda, desde el instante en que observa un obstáculo imprevisto en el camino hasta el momento en que se detiene completamente delante del obstáculo por aplicación de los frenos.

En el modelo de la AASTO⁴, la DVD está compuesta por dos distancias relacionadas con operaciones del conductor:

⁴AASHTO: siglas en inglés para Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

- Distancia de Percepción y Reacción (DPR): distancia recorrida a velocidad uniforme, velocidad directriz V , durante el lapso en que el conductor advierte el peligro y reacciona para aplicar los frenos (concepto cinemático).

Se adopta un lapso de 2,5 segundos como tiempo de percepción y reacción (TPR) y la distancia recorrida durante el TPR es la $DPR = V \times TPR$.

- Distancia de Frenado (DF): distancia recorrida en movimiento uniformemente desacelerado, durante el frenado en calzada húmeda hasta la detención frente al obstáculo (concepto dinámico).

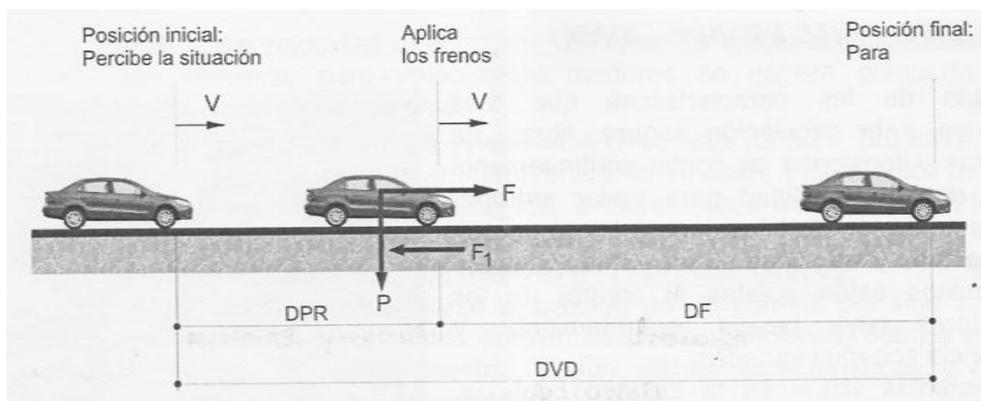


Ilustración 9. Distancia Visual de Detención

Igualando la energía cinética del vehículo que circula a la velocidad directriz con el trabajo de fricción longitudinal entre neumático y calzada, suponiendo f_l (coeficiente de fricción longitudinal húmeda) constante durante el frenado, se obtiene:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{V^2}{2g \times 3,6^2} = DF \times f_l \rightarrow DF = \frac{V^2}{254 \times f_l}$$

Donde:

v : velocidad directriz en m/s

V : velocidad directriz en km/h

g : aceleración de la gravedad, $9,8 \text{ m/s}^2$

f_l : coeficiente de fricción transversal húmeda, es un valor representativo de la fricción entre neumáticos y calzada, y engloba las resistencias del aire, rodamiento, e interna del motor y engranajes. (Tabulada en función de la velocidad directriz)

Entonces,

$$DVD = DPR + DF$$

DVD en Horizontal:

$$DVD = \frac{V \times 2,5}{3,6} + \frac{V^2}{254 \times f_l}$$

DVD en Pendiente Longitudinal:

$$DVD = \frac{V}{1,44} + \frac{V^2}{254 \times (f_l \pm i)}$$

Donde:

i : pendiente longitudinal, formato decimal

En calzadas de un solo sentido se considera subidas con valor positivo y bajadas con valor negativo. En calzadas de dos sentidos, se considera la situación más desfavorable, siempre negativa, para subida y para bajada.

5.3.2 Distancia Visual de Adelantamiento (DVA)

En caminos indivisos de dos carriles y dos sentidos, es la mínima distancia visual suficiente y necesaria que, invadiendo el carril de sentido contrario, permita al conductor de un vehículo adelantarse a otro que circula más lentamente por su mismo carril, sin interferir la velocidad y trayectoria de un tercer vehículo que avance en sentido contrario, si apareciera a la vista una vez iniciada la maniobra.

La DVA para caminos indivisos de dos carriles se determina como la suma de tres distancias, donde las magnitudes que intervienen son:

V1: velocidad del vehículo que es adelantado (B), en km/h.

$$V1 = VMM \left(\frac{km}{h} \right)$$

d0: distancia mínima entre vehículos que viajan en la misma dirección, en m.

$$d0 = 0,2 V1 + 8 (m)$$

V2: velocidad del vehículo que se adelanta (A) en km/h (VMM+15 km/h).

$$V2 = VMM + 15 (km/h)$$

d1: distancia recorrida por el vehículo que se adelanta (A) durante el tiempo de percepción, decisión, reacción y comienzo de la maniobra de adelantamiento, en m.

$$d1 = \frac{V1 \times t1}{3,6} (m)$$

t1: tiempo que tarda el vehículo que se adelanta (A) en recorrer la distancia d1, en s.

$$t1 = 4 \text{ segundos}$$

d2: distancia recorrida por el vehículo que se adelanta (A) desde que se desplaza al carril izquierdo hasta que retoma el derecho, en m.

$$d2 = \frac{V2 \times t2}{3,6} (m)$$

t2: tiempo que tarda el vehículo que se adelanta (A) en recorrer la distancia d2, en s.

$$t2 = \frac{2d0 \times 3,6}{V2 - V1} (s)$$

d3: distancia recorrida por un vehículo que circula en sentido contrario (C) al que se adelanta, en m, durante el lapso t2.

$$d3 = d2 (m)$$

$$DVA = d1 + d2 + d3$$

Las distancias obtenidas de esta forma, permiten el adelantamiento en la gran mayoría de los casos, pero se recomienda proyectar longitudes mayores:

- Donde haya significativo porcentaje de vehículos pesados.
- Para permitir el adelantamiento simultáneo de dos o más vehículos.
- En subidas fuertes.

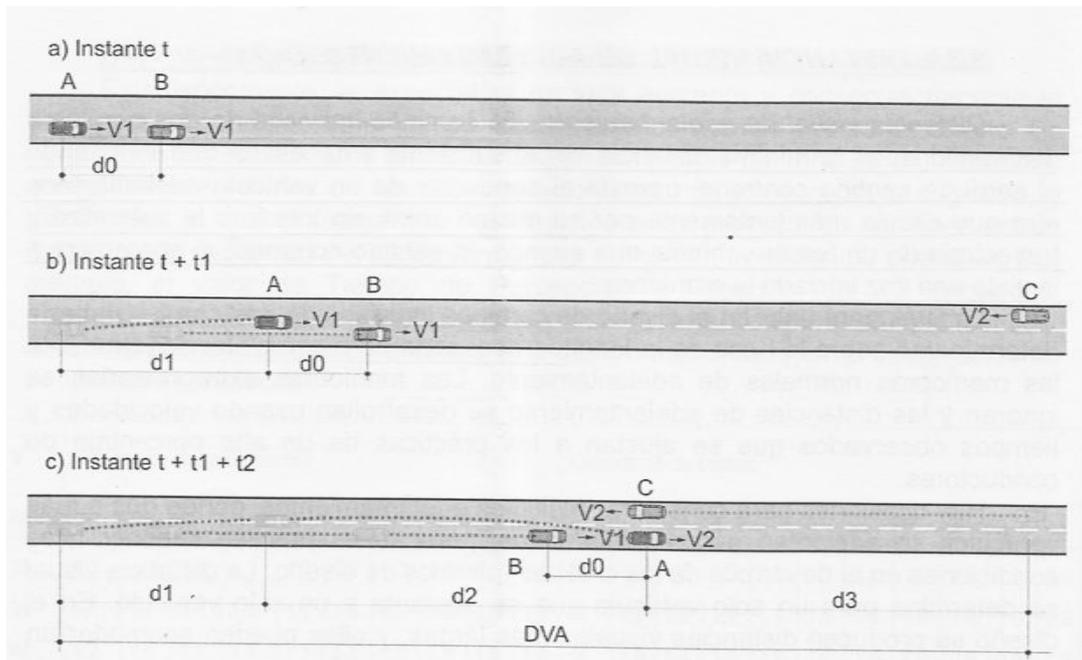


Ilustración 10. Esquema para el cálculo de la DVA

Estas distancias se ponen de manifiesto en los caminos mediante la demarcación horizontal, a través de las líneas que se pintan en la calzada señalando la posibilidad o no de sobrepaso, con línea blanca discontinua o doble línea continua amarilla, respectivamente.

La frecuencia y longitud de los tramos de adelantamiento que debe tener un camino de dos carriles, depende de: volumen de tránsito, nivel de servicio deseado, trazado, configuración topográfica, velocidad directriz, factores humanos, longitud necesaria, potencia vehicular y clima. Entonces, no es posible establecer criterios rígidos para determinarlos.

Cuando no sea factible proveer suficientes tramos con DVA, es recomendable proyectar carriles auxiliares de adelantamiento.

5.3.3 Distancia Visual de Decisión (DVDE)

La distancia visual de decisión provee una mayor longitud que la de detención, y es requerida para que:

- El conductor detecte una fuente de información difícil de percibir o condición peligrosa en la cercanía de la calzada y estime su potencial.
- Seleccione una nueva velocidad y trayectoria adecuadas e inicie y termine segura y eficientemente la maniobra requerida.

Los lugares críticos son:

- Aproximaciones a intersecciones y distribuidores (intercambiadores).
- Cambios en la sección transversal, tales como playas de peajes, principio y fin de carriles básicos y auxiliares.
- Variaciones en la velocidad directriz.
- Zonas de demanda concentrada de fuentes de información, que compiten por atención, como: elementos de calzada, tránsito opuesto, dispositivos de control

de tránsito, señales de advertencia, zonas de desvío de tránsito por obras de construcción.

Los valores recomendados se obtuvieron del modelo de AASHTO 1994 maniobra de decisión C, cambio de velocidad/trayectoria/dirección en camino rural.

V (km/h)	DVDE (m)
25	60
30	80
40	110
50	150
60	180
70	200
80	230
90	280
100	320
110	340
120	380
130	410
140	450

Tabla 2. DVDE en función de V
(Fuente: Modelo de AASHTO 1994)

5.4 ALINEAMIENTOS

Una vez fijados los criterios de diseño geométrico, se debe buscar una combinación de alineamientos rectos y curvos que se adapten al terreno, planimétrica y altimétricamente.

Para proyectar una obra vial se adopta una línea o eje de referencia que en general es el eje de la futura calzada. A este eje se refieren los demás elementos geométricos del proyecto (banquinas, taludes, obras de arte, cuentas, etcétera). El eje del camino estará representado por una línea alabeada “3D” de componentes x, y, z.

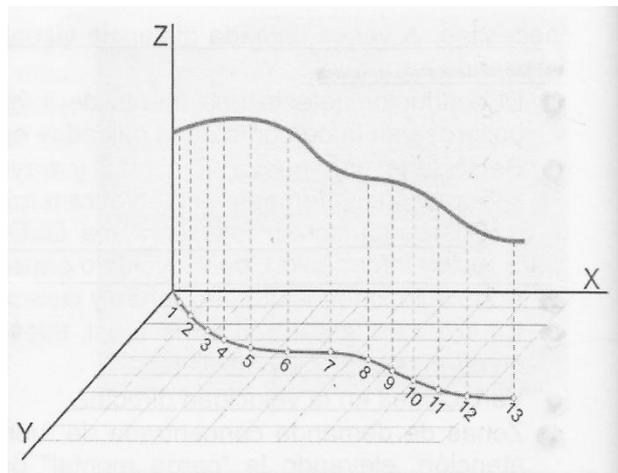


Ilustración 11. Representación tridimensional de un camino

El camino es tridimensional y para representarlo en planos, por razones prácticas, se adopta un sistema compuesto de planimetría y altimetría, complementando con perfiles transversales.

La planimetría es la proyección de la línea de eje sobre el plano X Y o plano horizontal, y la altimetría es la cota en el eje z o vertical.

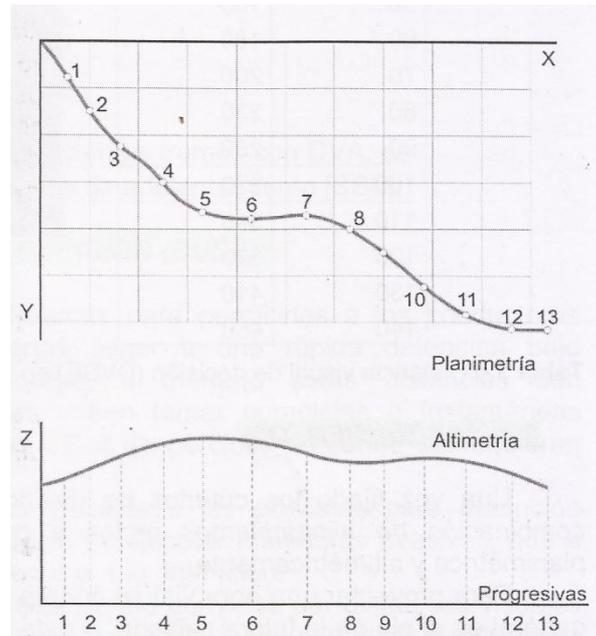


Ilustración 12. Planialtimetría

5.4.1 Diseño del alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal comprende tres elementos básicos:

- **Rectas:** de radio infinito y propiedades de dirección-sentido y longitud. Al ser totalmente predecibles, con una vista que aparece estática, pueden causar monotonía en el manejo y alentar la indeseable combinación de fatiga y exceso de velocidad. Entonces, se establecen longitudes máximas y mínimas en función de la velocidad directriz.
- **Curvas Circulares:** de radio constante y propiedades de radio, ángulo de desviación y longitud de la curva. En ellas actúa la aceleración centrífuga cuya magnitud es proporcional a la inversa del radio de la curva.
- **Transiciones:** de radio variable para evitar el pasaje brusco de recta a curva.
- **Clotoide:** de radio linealmente variable, es una curva de dos ramas desde curvatura $-\infty$ hasta $+\infty$, y longitud L desde $-\infty$ hasta $+\infty$ con variación uniforme; es decir, curvatura directamente proporcional a la longitud. Recorriéndola a velocidad constante, la variación de la aceleración centrífuga en función de la longitud o del tiempo es uniforme.

5.4.1.1 Rectas

Se recomienda proyectar longitudes en rectas menores que:

$$L_{r\text{m}\acute{a}x}(m) = 20 \times V(\text{km/h})$$

Entre curvas circulares próximas, sucesivas y del mismo sentido conviene dejar un tramo recto de longitud mínima para eliminar la insegura apariencia de espalda-quebrada:

$$L_{r\text{m}\acute{i}n}(m) = 5 \times V(\text{km/h})$$

5.4.1.2 Curvas Circulares

Planteo dinámico: En la Ilustración 13 se observa, un vehículo circulando a la velocidad directriz V en una curva horizontal de radio R , con su calzada inclinada respecto al plano horizontal un ángulo β , bajo las fuerzas: Centrífuga, Fricción transversal húmeda y Peso.

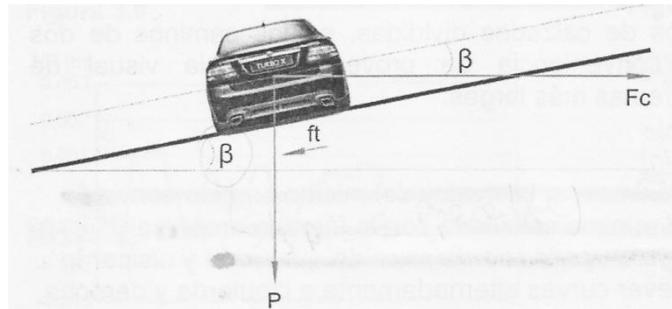


Ilustración 13. Fuerzas actuantes sobre un vehículo que circula por una curva horizontal

El criterio de proyecto de una curva horizontal es la oposición a la fuerza centrífuga desarrollada cuando el vehículo se mueve en una trayectoria curva. Para este criterio el mínimo radio de curvatura puede obtenerse de las leyes de la mecánica como una función de la velocidad del vehículo (V), del peralte (e), y de un adecuado coeficiente de fricción transversal húmedo (ft).

Coeficiente de Fricción Transversal Húmeda (ft): depende de una serie de factores: la velocidad del vehículo, el tipo, condición y peralte de la superficie del camino, y el tipo y estado de los neumáticos. El coeficiente de fricción transversal húmeda máxima ($ft_{máx}$) es el desarrollado en condiciones de inminente deslizamiento lateral del vehículo, con un razonable margen de seguridad.

$$\text{Para } V \leq 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow ft_{máx} = 0,188 - \frac{3 \times V(\text{km/h})}{5000}$$

$$\text{Para } \geq 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow ft_{máx} = 0,24 - \frac{V(\text{km/h})}{800}$$

Transformando el problema dinámico en estático, se obtiene:

$$\frac{v^2}{R} = (e + ft) \times g = \alpha \times g$$

Donde:

v : velocidad directriz en m/s

R : radio en m

e : peralte en m/m

ft : fricción transversal húmeda

g : aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

α : coeficiente centrífugo ($e+ft$)

Expresando la velocidad en km/h y reemplazando el valor de g , resulta:

$$R = \frac{V^2}{127(e + ft)}$$

5.4.1.3 Peralte y Radio

El peralte e es el valor de la inclinación lateral dado a la calzada en curvas horizontales para contrarrestar parte o toda la fuerza centrífuga desarrollada en el plano de la calzada; se expresa como la tangente del ángulo β , en tanto por ciento.

$$e(\%) = (\text{tangente } \beta) \times 100$$

Peralte Máximo (emáx): se adoptan valores máximos según los siguientes factores:

- Condiciones topográficas: llanura o montaña
- Condiciones climáticas: zonas de heladas y nevadas
- Condiciones de operación de los vehículos: zonas de bajas velocidades, intersecciones frecuentes, zonas suburbanas o urbanas.

Peralte máximo	Condiciones en que se desarrolla la ruta
10%	En zonas rurales montañosas, con heladas o nevadas poco frecuentes
8%	En zonas rurales llanas, con heladas o nevadas poco frecuentes
6%	En zonas próximas a las urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades, o zonas rurales, llanas o montañosas, sujetas a heladas o nevadas frecuentes.

Tabla 3. Peraltes máximos (emáx)

(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

Estas limitaciones impiden compensar totalmente la fuerza centrífuga en las curvas cerradas, por lo que es necesario recurrir a la fricción transversal que sumada al efecto del peralte, impiden el deslizamiento lateral del vehículo hacia el exterior.

Radio Mínimo Absoluto (RmínAbs): es el valor de radio mínimo correspondiente a los valores máximos de fricción transversal húmeda y peralte.

$$R_{mínAbs} = \frac{v^2}{127(emáx + f_{tmáx})}$$

Donde:

V: velocidad directriz en km/h

emáx: peralte máximo en %

f_{tmáx}: coeficiente de fricción transversal húmeda máximo

emáx+f_{tmáx} = αmáx: coeficiente centrífugo máximo

Radio Mínimo Deseable (RmínDes): es el valor calculado con la velocidad media de marcha en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz, para el cual el coeficiente de fricción transversal húmeda es nulo.

$$R_{mínDes} = \frac{VMM^2}{127(emáx + 0)}$$

Donde:

VMM: velocidad media de marcha en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz en km/h

emáx: peralte máximo en %

La diferencia entre el radio mínimo y el deseable es que en el mínimo se siente la fuerza lateral, producida por la aceleración transversal, mientras que en el radio deseable eso no sucede; siempre y cuando se circule a la velocidad media de marcha.

Distribución de e y ft en función de R: el peralte se calcula para que a la velocidad de la mayoría resulte un andar cómodo y seguro: VMM en flujo libre y fricción transversal nula.

El peralte contrarresta íntegramente la fuerza centrífuga de un vehículo que circule en flujo libre a la VMM correspondiente a la V, desde un radio $R_{mínDes}$ en que el peralte es máximo. Para radios menores hasta el $R_{mínAbs}$, se mantiene el peralte máximo.

Transición del peralte: es el proceso para modificar el perfil de la sección transversal desde el bombeo normal (BN) en recta al perfil peraltado en curva, y viceversa. Toda curva que requiera peralte debe tener transiciones en la entrada y en la salida, para favorecer la variación de la curvatura en correspondencia con la variación del peralte y del sobreancho.

La transición del peralte se compone de dos partes:

- *Desarrollo en recta extendida (Rex):* se refiere a la rotación del carril exterior desde el bombeo normal (A) hasta su posición horizontal (B).
- *Desarrollo del peralte (Des):* se refiere a la rotación del carril exterior desde su posición horizontal (B) hasta revertir el bombeo (C) y desde allí hasta la rotación de ambos carriles hasta el peralte total (E).

Hay tres métodos de transición del peralte según sea la línea elegida como eje del giro: eje central, borde interior o borde exterior. En este proyecto se utilizó el método de transición alrededor del eje central, que se encuentra en el centro de la mediana.

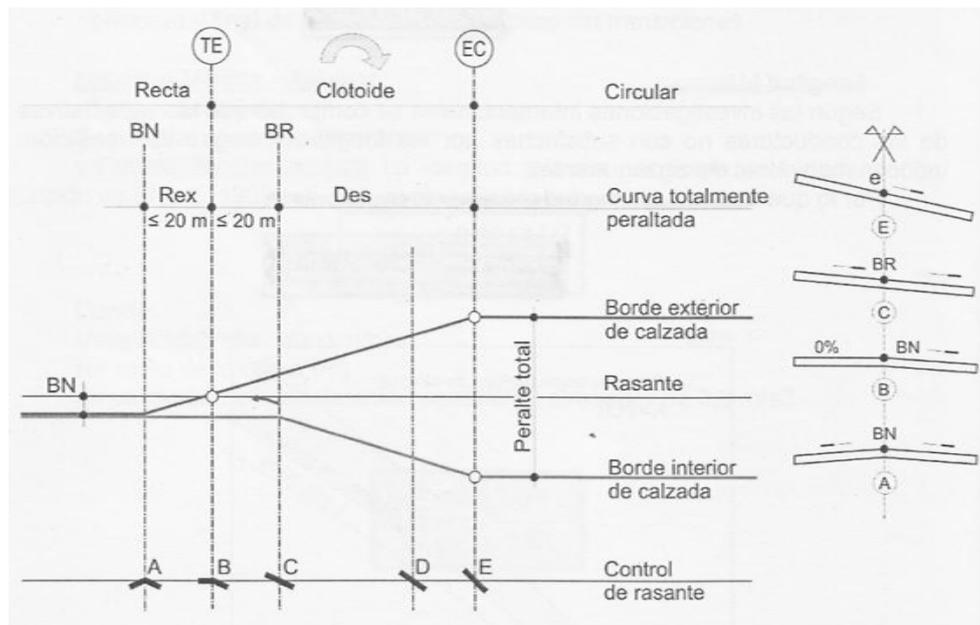


Ilustración 14. Transición del peralte

Velocidad Máxima Segura (VMS): es la que puede mantenerse a lo largo de una curva horizontal considerada aisladamente (R), en condiciones de seguridad cuando el pavimento está húmedo y los neumáticos en buen estado, el peralte es el diseñado (e), y la fricción transversal es la máxima ($f_{tmáx}$):

$$VMS = \sqrt{127R(e + f_{tmáx})}$$

5.4.1.4 Clotoide

La clotoide es una curva de transición tal que al recorrerla a velocidad constante origina una variación lineal de la aceleración centrífuga en función del tiempo (y del espacio), y un giro del volante a velocidad angular constante.

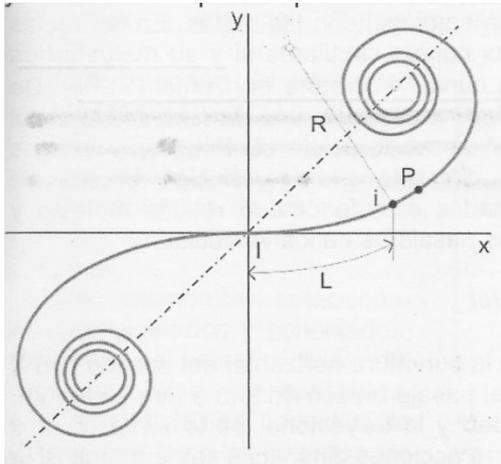
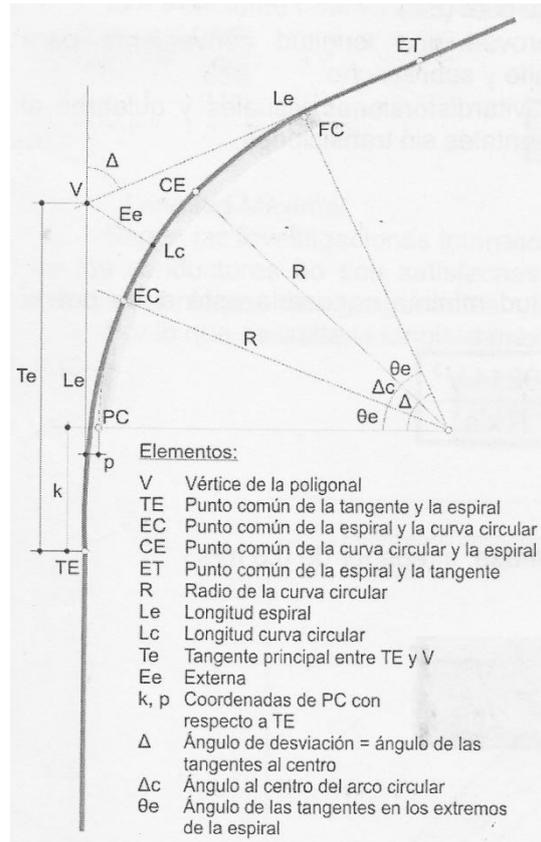


Ilustración 15. Clotoide

Ilustración 16. Elementos de la curva simple con transiciones



Transición: al aplicar la espiral, para darle espacio entre la recta y la curva circular, ésta tiene que desplazarse hacia su centro. Así, la curva circular se ubica entre rectas tangentes paralelas a las originales, pero retranqueadas una distancia p.

Longitud Mínima: se adopta el mayor valor entre los criterios de:

- **Comodidad:** la longitud mínima necesaria está dada por la función de Shortt (1909):

$$L_{mín} = \frac{0.0214 \times V^3}{R \times a} = \frac{V^3}{28 \times R}$$

Donde:

V: velocidad directriz en km/h

R: radio de la curva en m

a: variación de la aceleración centrífuga; alrededor de 0,6 m/s³

- **Apariencia General:** la transición debe tener una longitud tal que un vehículo marchando a la velocidad directriz, tarde 2 segundos aproximadamente en recorrerla.

$$L_{mín} = \frac{V}{1,8} \geq 30 \text{ m}$$

- **Apariencia de Borde:** por experiencia, las pendientes relativas máximas de 0,8 a 0,35% en función de la velocidad proveen desarrollos de peraltes con buena apariencia de borde para velocidades entre 20 y 130 km/h.

La longitud del desarrollo del peralte (Des) es:

$$Des = \frac{c \times e}{ib} = Lemín$$

Donde:

Des: longitud de desarrollo del peralte en m

c: ancho del carril en m

e: peralte en %

ib: pendiente relativa del borde respecto del eje de rotación

$$ib(\%) = 0,85 - \frac{V}{253}$$

Longitud Máxima: porque las expectativas de los conductores no son satisfechas por las longitudes largas de transición, se limita la misma a:

$$Lemáx = 1,25 Lemín$$

5.4.2 Diseño del alineamiento altimétrico

El alineamiento altimétrico o vertical está compuesto por la rasante, pendientes y curvas verticales.

5.4.2.1 Rasante

La rasante de un camino es una línea que representa en un plano las cotas, elevaciones o niveles de los puntos de la línea de referencia de la calzada. Esta línea de referencia en caminos de calzada divididas con mediana ancha es el borde interno de cada calzada, y en ramas es el borde elegido como eje de replanteo.

Por razones prácticas de proyecto, cálculo, replanteo y construcción la rasante está conformada por una serie de líneas rectas conectadas por curvas verticales de simple expresión analítica, parábolas simétricas. En el proyecto de la rasante se pueden distinguir dos características principales:

- Forma: es una combinación de pendientes y curvaturas, y depende de la ponderación de los factores técnico – funcionales, de seguridad y estéticos.
- Posición: se refiere a la altura respecto al perfil natural del terreno, y depende de los factores técnicos, económicos y constructivos. Puede subir o bajar por razones económicas de movimiento de suelo.

Factores que influyen en el trazado de la rasante: a igualdad de topografía, la forma será más suave y tendida y su posición más alta, cuanto mayor sea el volumen de tránsito y además su paquete estructural.

- **TÉCNICO-FUNCIONALES Y DE SEGURIDAD:**
 - Tránsito – topografía: velocidad directriz, distancias visuales, pendientes y curvaturas, comodidad y coordinación planialtimétrica.
 - Agua: alturas mínimas sobre nivel máximo de aguas superficiales y subterráneas.
 - Desagües: altura mínima sobre fondo de cuneta, pendiente para desagüe de la calzada, pendiente para desagües longitudinales.
 - Puntos de control: Intersecciones, distribuidores, separaciones de nivel, cruces viales, ferroviarios o fluviales, gálibos verticales, estructuras existentes y proyectadas, tapada mínima y máxima de alcantarillas, y cruces de servicios públicos aéreos y subterráneos.
 - Construcción: espesor del pavimento y espesor mínimo de las capas de suelo a compactar.

- **ECONÓMICOS:** hay que tratar de reducir los costos de construcción sin descuidar las características de la seguridad y funcionales. Una vez lograda la forma general hay que ajustar la posición procurando:
 - Compensación transversal y longitudinal del movimiento de suelo en función de la seguridad vial.
 - Optimización del transporte de suelos.
 - Reducción del movimiento de suelos, de los desmontes en roca, de la longitud de alcantarillas, de la necesidad de barreras de seguridad, y de la altura de rasante innecesaria en procura de mejores taludes.
- **ESTÉTICOS:** la rasante debe proyectarse teniendo en cuenta el alineamiento planialtimétrico para entender la realidad tridimensional que va a observar el conductor.

5.4.2.2 Pendientes

La inclinación del plano del camino es un factor que influye en distintos aspectos: costos, operación, seguridad, estética. La influencia sobre la operación de los vehículos es más fuerte sobre la velocidad de los camiones que sobre los vehículos livianos.

Pendiente Máxima. Longitud Crítica: el uso de las pendientes máximas deseables contribuye a establecer velocidades de operación uniformes en el nivel superior de los caminos con mayor variación de velocidad en los caminos de diseño inferior.

Sin embargo, la pendiente por sí sola no sirve para el diseño, se requiere de su longitud para suponer la operación deseable de los vehículos. La longitud crítica de pendiente es la longitud máxima de una pendiente de subida sobre la cual un camión cargado puede operar con una reducción de velocidad admisible.

Para establecer los valores de diseño de las longitudes críticas de pendientes para las cuales la capacidad de ascenso de los camiones es el factor determinante, se necesitan datos o suposiciones para lo siguiente:

- Tamaño y potencia de un representativo camión o combinación de camiones para usar como vehículo de diseño junto con los datos de capacidad de ascenso de este vehículo.

Un camión cargado, potenciado de modo que la relación peso/potencia sea alrededor de 180 kg/kw (134 kg/HP), es representativo del tamaño y tipo de vehículo o normalmente usado para el control del diseño de las principales carreteras.

- La velocidad de entrada a la longitud crítica de pendiente.

Puede utilizarse la velocidad media de marcha relacionada con la velocidad directriz. Para aproximación en bajada, debería aumentarse algo, y para aproximación en subida debería disminuirse.

Se determina una reducción de la velocidad de los camiones en 15 km/h con respecto a la velocidad media de marcha como una guía para la determinación de la longitud crítica de pendiente. Además, un incremento de velocidad de 10 km/h puede considerarse para bajadas moderadas, y de 15 km/h para pendientes más empinadas de longitud moderada o más larga.

- La velocidad mínima sobre la pendiente, debajo de la cual la interferencia a los vehículos siguientes no es considerada segura.

Las carreteras deben diseñarse de modo que las velocidades de los camiones no se reduzcan lo suficiente como para causar condiciones intolerables para los conductores que los siguen, principalmente por cuestiones de seguridad.

Entonces, en función de la reducción de la velocidad y de la pendiente de subida, se obtiene la longitud de la pendiente utilizando el gráfico de la Ilustración 17.

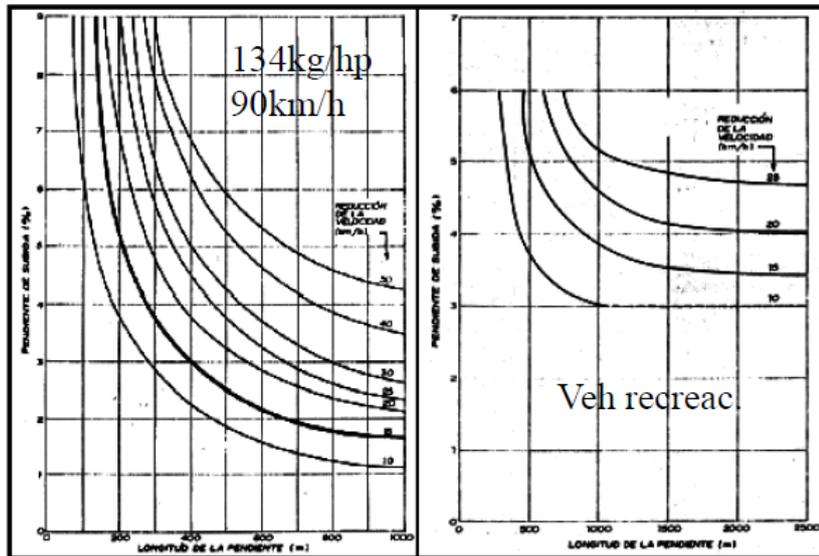


Ilustración 17. Longitudes críticas de pendiente para camión con relación peso/potencia=134 kg/hp y para un vehículo recreacional de la pendiente utilizando el gráfico de la Ilustración 17.

5.4.2.3 Curvas Verticales

Entre dos pendientes de la rasante se intercalan curvas verticales que suavizan el quiebre mediante el cambio gradual de la pendiente

Por simplicidad de cálculo, es generalizado el uso de la parábola cuadrática, la cual se aproxima bastante a la curva circular en los rangos usuales.

La parábola cuadrática de eje vertical es el lugar geométrico de los puntos del plano que equidistan de un punto, foco F, y de una recta, directriz D. La distancia del foco F a la directriz D es el parámetro P, cuyo valor determina el tamaño de la parábola; cuanto mayor sea, más grande y extendida será la curva.

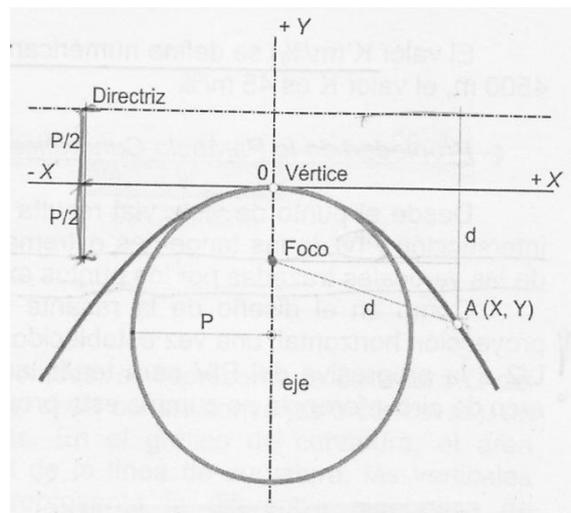


Ilustración 18. Parábola cuadrática

Elementos de la parábola cuadrática: con centro de coordenadas en el vértice (punto donde la parábola corta el eje), la ecuación de la parábola es:

$$y = \frac{x^2}{2P}$$

Por lo tanto:

$$y' = i_i = \frac{x_i}{P} \text{ para } i = 1,2$$

$$L(m) = x_1(m) + x_2(m) = P(i_1 - i_2)$$

$$L(m) = P(m) \times \Delta i(m/m)$$

Para cualquier arco, $\Delta i = i_1 - i_2$ y se denomina diferencia algebraica de pendientes; según sea positiva o negativa la curva es cóncava o convexa. Multiplicando y dividiendo por 100% resulta:

$$L(m) = K\left(\frac{m}{\%}\right) \times \Delta i(\%)$$

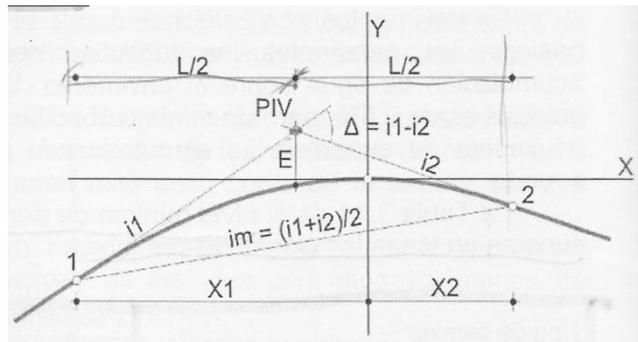


Ilustración 19. Elementos de la parábola cuadrática

El valor $K(m/\%)$ se define numéricamente como $P(m)/100$.

Propiedad y Curvatura de la Parábola Cuadrática: Desde el punto de vista vial resulta muy práctica la propiedad: el punto de intersección PIV de las tangentes extremas de cualquier arco de curva equidista de las verticales trazadas por los puntos extremos del arco.

Como en el diseño de la rasante las líneas inclinadas se miden por su proyección horizontal, una vez establecido el PIV y elegida L, basta sumar y restar $L/2$ a la progresiva del PIV para tener las progresivas de los extremos de L.

El parámetro de la parábola cuadrática de eje vertical es el radio del círculo osculador en el vértice de la parábola, y su inversa es la curvatura en ese punto.

$$y'' = \frac{1}{P} = \text{constante} = C$$

Las curvas verticales empleadas en la práctica vial tienen radios de curvatura más grandes que los radios correspondientes al diseño planimétrico, por lo que la curvatura, y la aceleración centrífuga vertical son pequeñas. Si en la definición de curvatura media de un arco se la mide como diferencia de las pendientes i_1 e i_2 en % y la longitud del arco se mide como su proyección sobre la horizontal, la curvatura media sería:

$$C_m = \frac{\Delta i(\%)}{L(m)} = \frac{1}{K\left(\frac{m}{\%}\right)} = \frac{1}{K}\left(\frac{\%}{m}\right)$$

Esto muestra que la curvatura de la parábola cuadrática es constante.

Definición de Parámetro Básico $P(m)$: “para cierta velocidad directriz, es el parámetro o radio del círculo osculador en el vértice de una parábola de eje vertical que proporciona como mínimo la distancia visual hasta pendiente media $\pm 2\%$, necesaria para esa velocidad, cualquiera sea la diferencia algebraica de pendientes” (Viguria).

Criterios de Longitudes Mínimas: Los criterios que afectan la curvatura de la rasante son:

- Seguridad de Operación (DVD): para cualquier $\Delta i(\%)$ e $i_m(\%)$,

$$L_{\text{mín}}(m) = K_{\text{básico}} \times \Delta i \times F_{im}$$

Donde F_{im} es el factor de corrección por im, en tablas según curvas cóncavas o convexas.

- Apariencia Estética de la Rasante: para que la curva vertical parezca una curva y no un quiebre se adopta la ecuación empírica y subjetiva,

$$L_{mín}(m) = V(km/h)$$

- K mínimo: independientemente de V se adopta $K \geq 4m/\%$
- Comodidad de los viajeros (Aceleración centrífuga vertical)
- Drenaje superficial ($i \geq 0,35\%$ a 15 m del vértice)

Diferencias Algebraicas de Pendientes que no Requieren Curvas Verticales: los valores máximos de Δi (%) para los cuales no es necesario introducir curvas verticales en quiebres convexas o cóncavos son:

$$\text{Para } V \geq 80 \text{ km/h: } \Delta i(\%) \leq 40/V$$

$$\text{Para } V < 80 \frac{km}{h}: \Delta i(\%) \leq 0,5$$

Modelo AASHTO – Alturas DNV⁵: Para el cálculo se adoptan los siguientes valores:

- Altura ojos: $h_1 = 1,1$ m
- Altura faros delanteros: $h_1 = 0,6$ m
- Altura objeto:
 - Operación diurna: $h_2 = 0,3$ m (abs)/ $0,15$ m (normal)/ 0 m (deseable)
 - Operación nocturna: $h_2 = 0,6$ m (altura faros traseros)
- Altura vehículo = $1,3$ m
- Ángulo del haz luminoso sobre el eje longitudinal $\alpha = 1^\circ$

Curvas Verticales Convexas: Para calcular el valor del $K_{básico}$ para DVD ($im \leq 2\%$), se adopta la operación diurna.

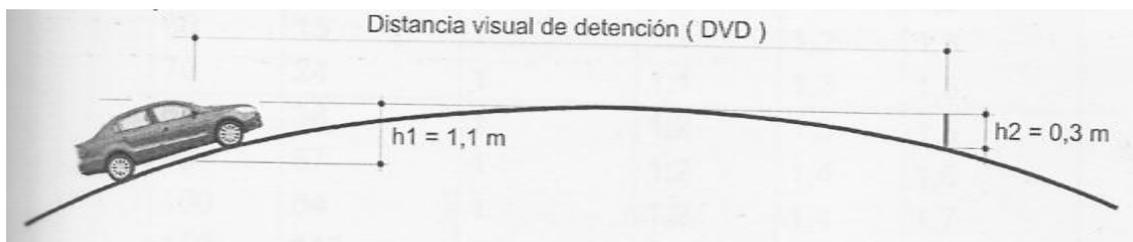


Ilustración 20. DVD para curvas verticales convexas en operación diurna

$$K = \frac{DVD^2}{100[\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}]^2} = CA \times DVD^2$$

$$CA = \frac{1}{100[\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}]^2} = \text{coeficiente de alturas de curvas convexas}$$

⁵ DNV: Dirección Nacional de Vialidad

Curvas Verticales Cóncavas: Para calcular el valor del $K_{\text{básico}}$ para DVD ($i_m \leq 2\%$), se adopta la operación nocturna por ser más desfavorable (altura de faros delanteros < altura de los ojos).

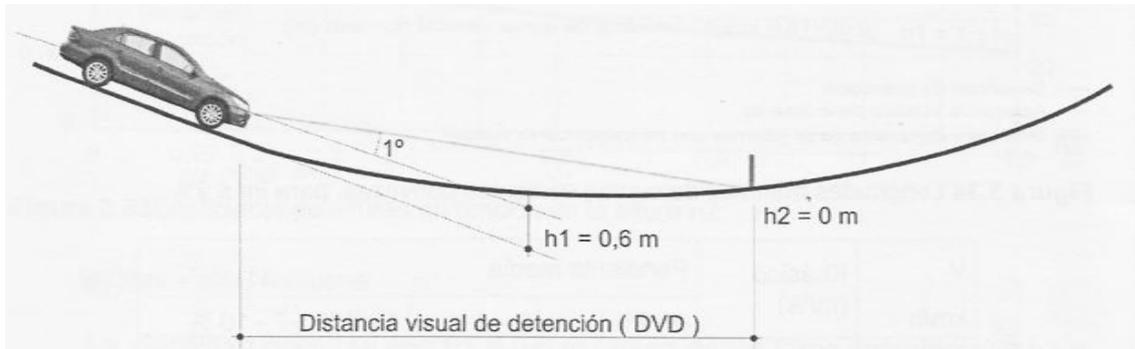


Ilustración 21. DVD para curvas verticales cóncavas en operación nocturna

$$K = \frac{DVD^2}{200(h_1 + DVD \tan 1^\circ)} = \frac{DVD^2}{120 + 3,5DVD} \text{ (con } h_1 = 0,6 \text{ m)}$$

Valor $K_{\text{básico}}$ para DVD bajo estructura: la visibilidad bajo estructuras en operación nocturna es más desfavorable.

$$K = \frac{DVD}{800(H - \frac{h_1}{2})} = \frac{DVD}{2720}$$

Donde:

$h_1 = 2,2$ m (altura del ojo del camionero)

$h_2 = 0$ m (altura de objeto)

$H = 4,5$ m (altura mínima de la estructura)

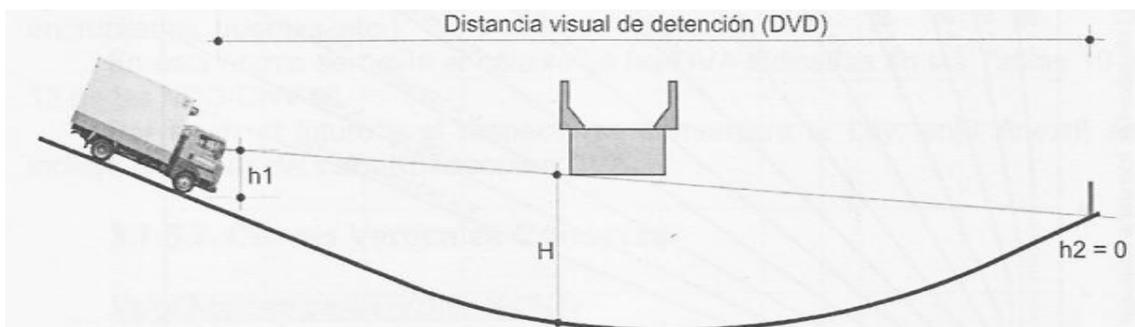


Ilustración 22. DVD bajo estructura en operación nocturna

5.5 PARAMETROS GEOMÉTRICOS MÍNIMOS

Con todo lo explicado previamente, se calcularon los parámetros geométricos mínimos para cada tipología del proyecto y se organizaron en la siguiente tabla.

Tipología	Vd	Peralte	Radio Mín.	Clotoide	Pendiente Máx.	Parám. Cóncavas	Parám. Convexas
	[Km/h]	[%]	[m]	[m]	[%]	[m/%]	[m/%]
Autopista	110	6%	560	79	4%	55	74
Ramales	70	8%	175	52	8%	23	17
Ramales	60	8%	125	48	8%	18	11
Col./Secundarios	60	4%	60	21	8%	18	11

Tabla 4. Parámetros geométricos mínimos

5.6 SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal de un camino es su intersección con un plano vertical perpendicular a la proyección horizontal del eje.

Las secciones transversales típicas dependen del tipo de camino al cual pertenecen. Al mismo tiempo, el tipo y diseño general del camino están influenciados por la zona que atraviesa y el volumen de tránsito.

El volumen de tránsito influye directamente en la determinación del número de carriles del camino, ya sea urbano o rural. Teniendo en cuenta este aspecto se puede distinguir:

- Caminos de calzada indivisa de un carril (rama de autopista) o de un carril por sentido (camino común), o dos o más carriles por sentido (camino multicarril).
- Caminos de calzadas divididas o separadas por sentido (autopista).

5.6.1 Elementos de la sección transversal

El diseño comienza con la selección de los elementos a incorporar en la sección transversal, y continua con su dimensionado.

Geoméricamente, la sección transversal típica de un camino rural queda definida por la calzada (carriles) y sus costados: banquetas, taludes, cunetas, contrataludes, y los bordes hasta el límite de la zona de camino (LZC).

Existen otros elementos según las circunstancias, como obras de arte, muros de sostenimiento, barreras de protección, cordones, alambrados, etcétera.

Las secciones más complejas, requeridas por un tránsito mayor, pueden incluir dos calzadas separadas por una mediana, isletas separadoras, carriles y zonas auxiliares, secciones de entrecruzamiento, ramas de distribuidores, calzadas colectoras, calles laterales, veredas, iluminación, etcétera.

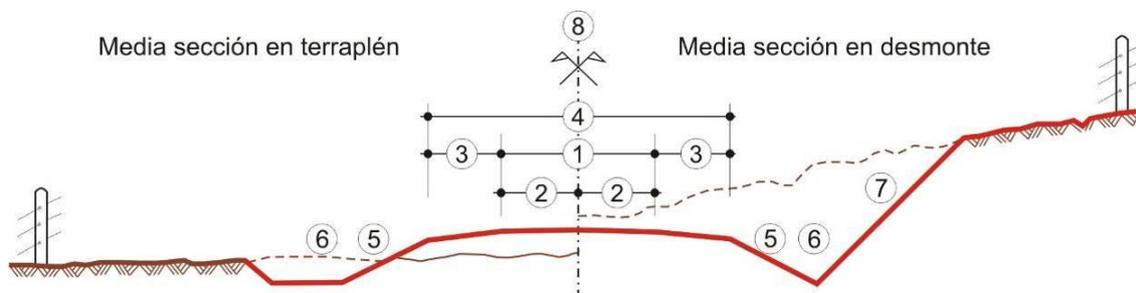


Ilustración 23. Sección de un camino de dos carriles indivisos

- | | |
|------------------|--------------------|
| (1) Calzada | (5) Talud |
| (2) Carril | (6) Cuneta |
| (3) Banquina | (7) Contratalud |
| (4) Coronamiento | (8) Zona de Camino |

Según las posiciones relativas entre la sección transversal del proyecto y la del terreno natural, se tienen secciones en terraplén, desmonte, media ladera, media galería, galería.

Las secciones con complemento estructural son las de los puentes (alto o bajo nivel), viaductos, túneles, cobertizos.

Los elementos de la sección transversal influyen sobre las características operativas, de seguridad y estética del camino. Deben diseñarse según los patrones de velocidad, capacidad y nivel de servicio, considerando las dimensiones y características de operación de los vehículos y el comportamiento de los conductores.

5.6.1.1 Calzada (C) – Carriles

Los carriles básicos son carriles continuos a lo largo del camino. El número a proveer depende del flujo de tránsito y el nivel de servicio deseado.

Se definen dos anchos de carril:

- 3,65 m para $V \geq 80$ km/h (alta velocidad)
- 3,35 m para $V < 80$ km/h (baja velocidad)

Para evacuar rápidamente el agua de lluvia que cae en la calzada y facilitar la conservación y limpieza es necesario adoptar perfiles inclinados. Así disminuye la probabilidad de infiltración de agua en el paquete estructural y la formación de capas de agua que afectan el mantenimiento de los vehículos sobre la calzada.

La siguiente tabla muestra las pendientes transversales mínimas en recta (BN) adoptadas de los tipos de superficie más comunes.

Tipo de pavimento	Pendientes Transversales (%)
Hormigón	2
Concreto asfáltico	2
Carpeta bituminosa y macadam a penetración	2,5
Tratamientos bituminosos tipos doble y simple	3
Tratamiento bituminoso tipo simple	3

Tabla 5. Bombeos Normales

(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

En general se utiliza la pendiente mínima que permite un adecuado drenaje superficial en los límites tolerables para la operación segura del tránsito.

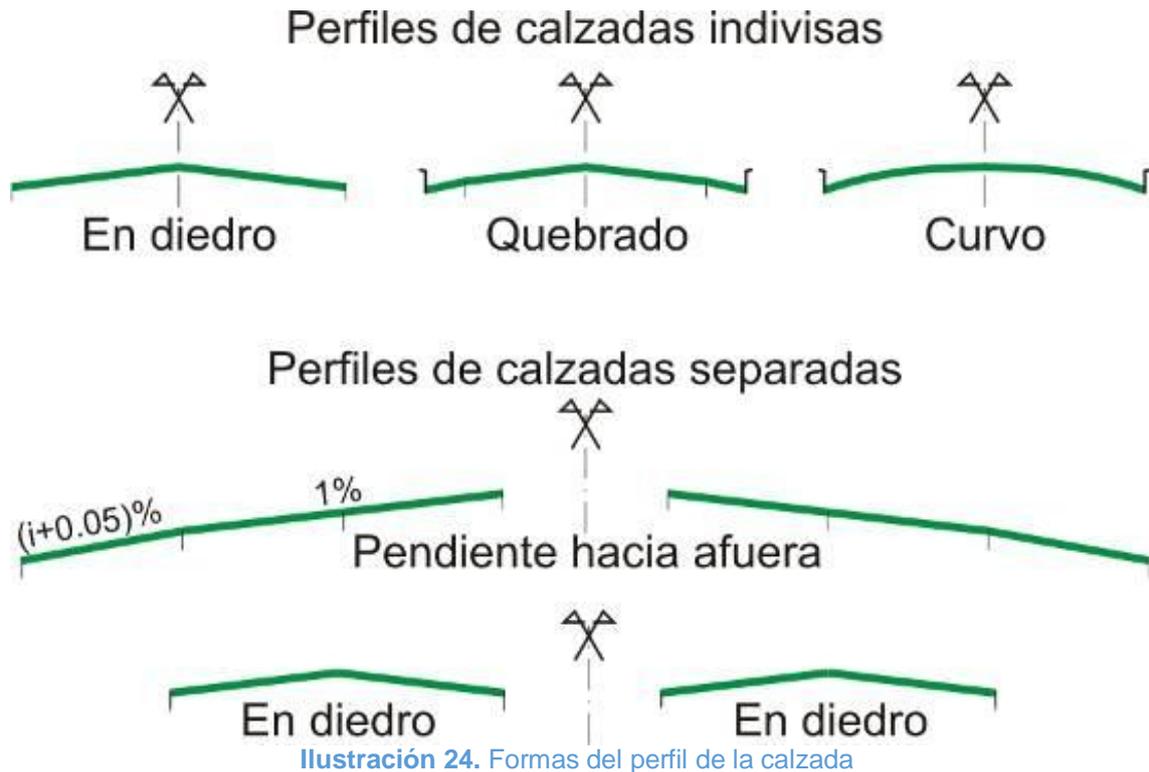


Ilustración 24. Formas del perfil de la calzada

5.6.1.2 Costados del camino (CDC) – Zona despejada (ZD)

Los costados del camino son las áreas laterales a la calzada, medidas desde el borde de calzada y que abarcan hasta el límite de la zona del camino, los exteriores, y hasta el otro borde de calzada, con el interior en coincidencia con la mediana.

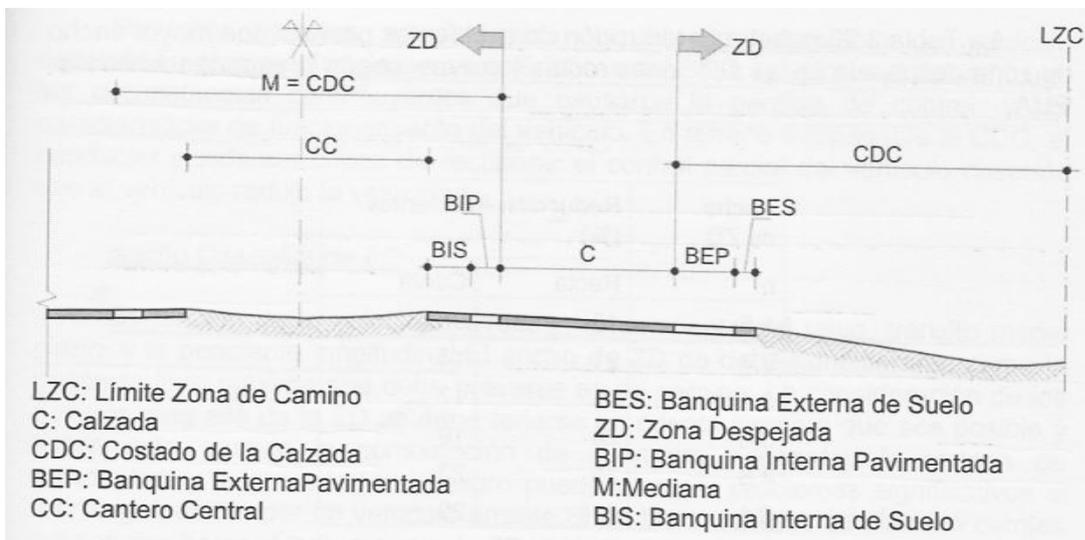


Ilustración 25. Costados del camino – Zona despejada

Los accidentes por salida de la calzada implican choques contra objetos fijos peligrosos ubicados en los costados y/o el vuelco del vehículo. La probabilidad de éstos se minimiza si se reducen los peligros en los costados del camino, es decir, si la superficie del costado es sensiblemente plana, firme y sin obstáculos.

La zona despejada es un área adyacente a la calzada, medida desde los bordes normales de la calzada principal, disponible para un uso seguro de los vehículos errantes. Es un área relativamente plana, suave, de superficie firme, sin peligros, que se extiende lateralmente y permite que un vehículo errante recupere el control (vuelva a la calzada o se detenga) sin ocasionarle un vuelco o un choque contra un objeto peligroso.

Esta zona, que puede incluir carriles auxiliares de adelantamiento, de cambio de velocidad, o ascendentes para camiones, banquetas pavimentadas y/o sin pavimentar, redondeo de banquetas, taludes recuperables, con características traspasables, se ubica a partir del borde derecho de la calzada en caminos de dos carriles y dos sentidos, y además en la mediana en caminos de calzadas separadas.

Aunque el ancho de la zona despejada es un intento de equilibrar los beneficios de seguridad contra las posibles limitaciones, la gran variedad de restricciones pueden dar lugar a algunas situaciones donde el ancho completo no es posible. En estos casos, primero se debe hacer un intento para superar las limitaciones, ya sea el espacio disponible, los compromisos ambientales o de propiedad, o la financiación, de modo de lograr la zona despejada.

El ancho deseable de la ZD es función de la velocidad directriz, la pendiente del talud, tránsito medio diario, y la pendiente longitudinal. No debe considerarse como la distancia libre máxima que debe preverse en un camino y siempre que sea posible, deben tenerse en cuenta los peligros más allá de la zona despejada. Si en las autopistas se planean carriles adicionales hacia el lado externo, la zona despejada debería determinarse desde el borde de la calzada en su condición final.

Originalmente la ZD fue analizada en tramos rectos. Para curvas horizontales la siguiente figura de la Ilustración 26 provee coeficientes de corrección en función de la velocidad y el radio de curva. En la tabla debajo se dan ejemplos de zona despejada en recta.

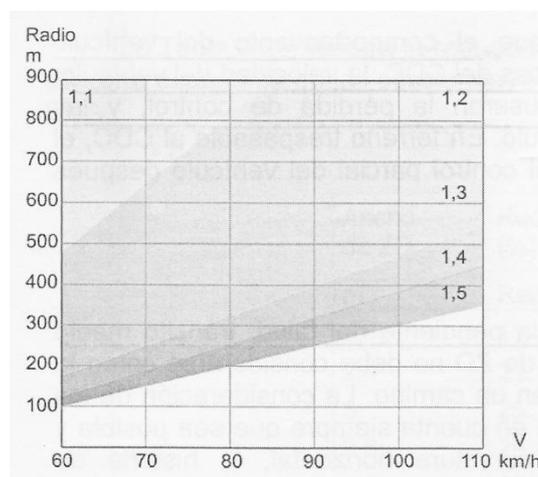


Ilustración 26. Factores de corrección por curva horizontal

Tipo	Categoría	V (km/h)	TMDA	Talud	ZD (m)
Autopista	Especial	120	>5000	Plano – 1:4	10 - 10
		110	>5000	Plano – 1:4	10 - 10
Autovía	I	120	15000	Plano – 1:4	10 - 10
			5000	Plano – 1:4	10 - 10
		110	15000	Plano – 1:4	10 - 10
			5000	Plano – 1:4	10 - 10
80	15000	Plano – 1:4	6 – 10		
	5000	Plano – 1:4	6 – 10		
Carretera	II	120	5000	Plano – 1:4	10 - 10
			1500	Plano – 1:4	10 - 10
		100	5000	Plano – 1:4	9 – 10
			1500	Plano – 1:4	6 – 10
70	5000	Plano – 1:4	5 – 7		
	1500	Plano – 1:4	4 – 5		
Común	III	110	1500	Plano – 1:4	7 – 8
			500	Plano – 1:4	5 – 6
		90	1500	Plano – 1:4	5 – 8
			500	Plano – 1:4	2 – 6
60	1500	Plano – 1:4	3 – 4		
	500	Plano – 1:4	2 – 3		
Bajo Volumen	IV	100	500	Plano – 1:4	5 – 8
			150	Plano – 1:4	2 – 2
	70	500	Plano – 1:4	3 – 4	
		150	Plano – 1:4	1 – 1	
V	90	<150	Plano – 1:4	2 – 2	

Tabla 6. Ejemplos de ZD en recta

(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

5.6.1.3 Banquinas

Las banquetas son áreas utilizables inmediatamente adyacentes a la calzada; constituyen elementos críticos de la sección transversal del camino. Proveen:

- Zona despejada para los vehículos errantes y soporte de franjas sonoras.
- Menores tasas de accidentes por salida del camino y choques frontales, evitando la caída del borde del pavimento.
- Zona para vehículos de emergencia.
- Soporte lateral de la estructura de la calzada.
- Capacidad.
- Visibilidad en las secciones de corte.
- Carril de ciclistas.
- Carril de emergencia natural, es especial en perfil tipo autovía o autopista.
- Tránsito más seguro de maquinarias agrícolas y equipos especiales, evitando la invasión del carril de sentido contrario.

Sobre la base de la experiencia de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) se adoptan los anchos indicados en la Tabla 7. Aunque sería deseable establecer una banquina de 3 m a cada lado en todos los caminos, para minimizar costos se adoptan anchos entre 0,5 y 3 m.

Normalmente, en las banquetas pavimentadas la pendiente transversal es mayor o igual a la de los carriles básicos. Donde las banquetas no son pavimentadas, la pendiente transversal es dos por ciento más empinada que la del carril, para facilitar el desagüe superficial.

Tipos	Categoría	V (km/h)	Banquina (m)		
			c/ Pav	s/ Pav	Total
Carretera	II	120	1,0	2,0	3,0
		100	1,0	2,0	3,0
		70	1,0	1,0	2,0
		50	0,5	1,5	2,0
Común	III	110	0,5	2,5	3,0
		90	0,5	2,5	3,0
		60	0,5	1,5	2,0
		40	0,5	1,0	1,5
Bajo Volumen	IV	100	-	3,0	3,0
		70	-	3,3	3,3
		50	-	2,0	2,0
		30	-	1,5	1,5
	V	90	-	2,0	2,0
		50	-	2,0	2,0
		30	-	1,5	1,5
		25	-	0,5	0,5

Tabla 7. Anchos parciales y totales de banquetas externas

(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

El ancho de las banquetas puede variar en función de la topografía, por ejemplo, en zonas montañosas suele ser menor por el costo de movimiento de suelos, en comparación con el ancho adoptado en zonas llanas u onduladas.

La pendiente transversal usual de las banquetas es 4%. Sin embargo, se pueden utilizar los valores recomendados por la AASHTO para pavimentos sin cordones, según el tipo de recubrimiento previsto:

Banquetas con tratamiento bituminoso	Del 3 al 5 %
Banquetas con grava o piedra partida	Del 4 al 6 %
Banquetas recubiertas con pasto	8 %

Estos valores no son rígidos y la AASHTO recomienda que se tenga en cuenta la pendiente transversal de la calzada, para evitar en el quiebre calzada – banquina diferencias algebraicas de pendiente muy pronunciadas.

Su superficie debe ser más bien rugosa para no alentar a los conductores a circular por ella. Cuando no se pavimente, deberá ser estabilizada mediante una subrasante bien compactada, preferiblemente de material granular.

5.6.1.4 Taludes

Para fijar las pendientes de los taludes de los terraplenes, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Seguridad técnica y psicológica
- Estabilidad
- Facilidad para su mantenimiento

- Estética y economía

En la siguiente tabla se encuentra la clasificación de las condiciones de seguridad de taludes:

Taludes	Clasificación
1:2 (50%)	Peligrosas
1:3 (33%)	Marginales
1:4 (25%)	Buenas
1:6 (17%)	Mejores
1:10 (10%)	Preferidas

Tabla 8. Clasificación de condiciones de seguridad de taludes
(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

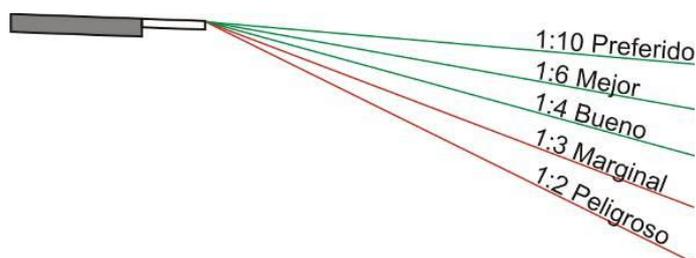


Ilustración 27. Clasificación de condiciones de seguridad de taludes

Las zonas despejadas y los taludes laterales están estrechamente relacionados, dado que por definición, la ZD debe incluir un talud traspasable recuperable 1:4 o más tendido. Los taludes mayores que 1:4 son demasiado fuertes como para permitir retomar el control del vehículo, y puede esperarse que los vehículos que invadan tal talud viajen hasta el fondo, si es que no vuelcan. Los taludes 1:3 son de seguridad marginal; los conductores errantes que tratan de recuperar el control de sus vehículos no maniobran o frenan exitosamente; se vuelven potencialmente peligrosos cuando otras características, tal como árboles, postes o zanjas de erosión, están ubicadas en o adyacentes al talud.

El ancho de ZD calculado es aplicable solamente sobre taludes recuperables (1:4 o más tendidos). La presencia de un talud no recuperable (entre 1:3 y 1:4) requiere una extensión del ancho provisto de ZD, equivalente al ancho de talud no recuperable en la ZD que se provee como reconocimiento que un vehículo errante viajará probablemente hasta el fondo del talud.

Cuando no pueda tenderse el talud más de 1:3 hasta alcanzar el ancho completo de ZD, se debe analizar la opción de instalar barrera.

5.6.1.5 Cunetas

Las cunetas son necesarias para el drenaje del camino. Su función primaria es colectar y conducir el agua superficial a lo largo del camino hasta drenarla sobre cauces naturales u obras de arte. Si no se diseñan, construyen y mantienen como traspasables, representan condiciones peligrosas del costado del camino.

Las cunetas traspasables se conforman con amplios y suaves lados y poca profundidad, lo que permite a los vehículos errantes atravesarlas sin ser violentamente redirigidos, volcados o abruptamente desacelerados.

Cuando no puedan proveerse cunetas traspasables, debería considerarse la reubicación de la cuneta fuera de la zona despejada, sistemas de drenaje subterráneos, o un sistema de barrera para impedir que un vehículo entre en una cuneta no traspasable.

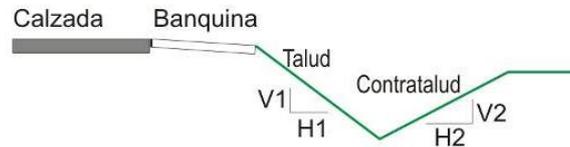


Ilustración 28. Sección transversal recomendada en cunetas de cambio brusco de pendientes

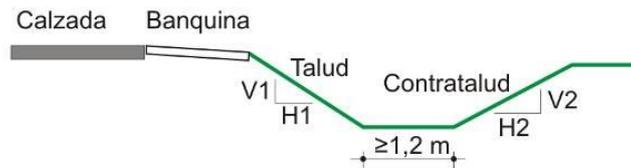


Ilustración 29. Sección transversal recomendada en cunetas de cambio gradual de pendientes

5.6.1.6 Contrataludes

Cuando se tiene una sección en corte, el contratalud puede ser traspasable o no según su pendiente y la presencia de objetos fijos.

Si el contratalud tiene pendiente 1:3 o más tendida y está libre de objetos fijos, puede no ser un peligro significativo, independientemente de su distancia a la calzada.

El perfil transversal en corte se diseña con una cuneta entre la banquina y el contratalud que debe ser traspasable. También puede perfilarse el contratalud para que trabaje como una barrera rígida.

5.6.1.7 Medianas o cantero central

El cantero central o mediana se utiliza como elemento separador de calzadas de distinta mano.

Las funciones de las medianas consisten en separar tránsitos opuestos, proveer área para vehículos fuera de control, proporcionar área para detenerse en casos de emergencias, brindar espacio para cambios de velocidad y almacenamiento para giro a la izquierda o en U, minimizar el encandilamiento y proveer ancho para futuras trochas, cuando las necesidades del tránsito lo exijan. En áreas urbanas ofrecen además un espacio verde abierto.

Es conveniente que, dentro de lo razonable, tengan el mayor ancho posible. El ancho de la mediana es la distancia entre el borde de los carriles adyacentes e incluye las banquetas izquierdas, si las hay.

Excepto para caminos de montaña, caso de excepción, el ancho mínimo es de 1 m (con barrera de seguridad en el centro preferentemente), pero en caminos de categoría I ubicados en zonas llanas u onduladas no deberán tener anchos inferiores a los 4 m. Si no es posible obtenerlos, es recomendable también colocar en este caso, barrera de seguridad en su línea media.

Sin embargo, para caminos de categoría I, es aconsejable que el cantero central tenga como mínimo 11 o 12 metros. El ancho deseable, es en general, del doble del ancho

del conjunto de las calzadas proyectadas. Finalmente, su ancho estará regulado por razones de orden económico.

Cuando el ancho del cantero central es del orden de 11 o 12 m, es conveniente que el mismo drene por medio de una cuneta longitudinal ubicada entre las calzadas.

En estos casos, para que la cuneta no constituya un peligro, su profundidad no debe ser mayor que la requerida para un apropiado desagüe, y las pendientes de los taludes no más pronunciadas que 1:4 y preferentemente 1:6. El fondo de la cuneta debe ser redondeado evitándose el uso de la cuneta triangular.

Cuando los canteros tienen más de 4 m de ancho es común la parquización de los mismos, que sirve fundamentalmente para evitar el encandilamiento y también como elemento paisajista.

La necesidad o no de utilización de barreras de seguridad en el cantero central es una función del ancho del mismo y de los volúmenes de tránsito. Cuanto más altos sean éstos, mayores serán las posibilidades del cruce de un vehículo despistado por el cantero central. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el empleo de la barrera en el cantero central solo se justifica cuando el impacto de un vehículo contra la misma tenga consecuencias menos graves que el accidente que causaría su ausencia.

Los canteros centrales pueden ser deprimidos, a nivel o sobreelevados. Los sobreelevados se usan en calles arteriales donde es deseable regular los movimientos de giro a la izquierda. También se usan donde el ancho es relativamente angosto, por ejemplo menores de 2 m. Se pueden usar cordones de 0,15 m de altura o del tipo semimontable con altura de 0,125 m o montable. No deben usarse en vías rurales ni en urbanas con velocidades altas.

Los canteros deprimidos son recomendados en autopistas, por su mejor eficiencia en el drenaje.

Las medianas a nivel son usadas como extensión sobre todo tipo de arterias urbanas. En autopistas, deben usarse con barrera. En todos los casos, el cantero central debe presentar leve bombeo o ligera depresión para favorecer el drenaje.

5.6.1.8 Zona de camino

La zona de camino es el espacio afectado a la vía de circulación y sus instalaciones anexas, comprendido entre las propiedades frentistas.

CATEGORIA DEL CAMINO	ZONA PREVISIBLEMENTE RURAL	ZONA PREVISIBLEMENTE URBANA/SUBURBANA
ESPECIAL	150	180
I	120	150
II	100	130
III	70	100
IV	70	100
V	50	70

Tabla 9. Anchos mínimos para zonas de camino (en metros)
(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo I de la cátedra Transporte II)

5.6.2 Secciones tipo del proyecto

Para las **calzadas principales** se prevén 3 carriles por sentido de circulación totalizando los 10,95 m de ancho cada una, con banquetas de 3,00 m, de los cuales 2,50 m de la banquina externa y 1,00 m de la banquina interna serán pavimentados.

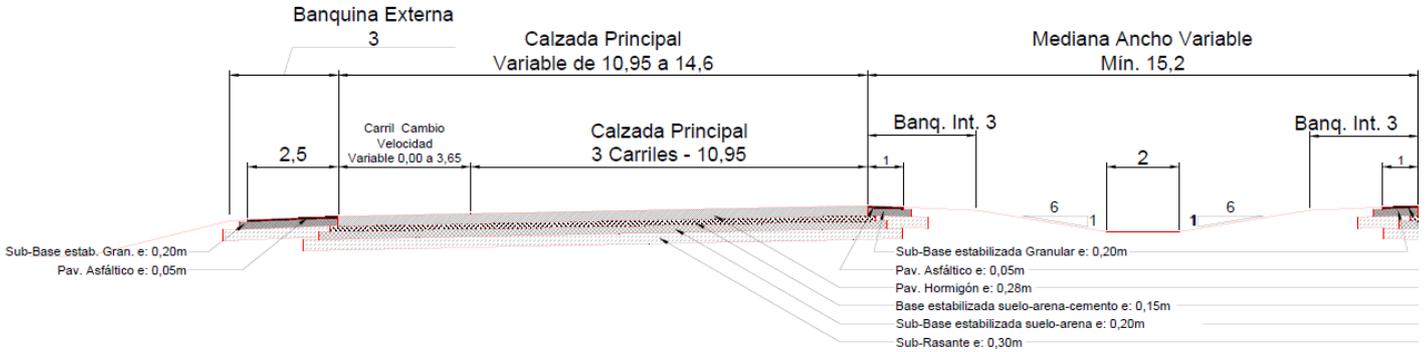


Ilustración 30. Perfil tipo calzada principal con carriles de cambio de velocidad

Las calzadas que conforman los **ramales** tienen un ancho de 4,50 m con banquina interna de 1,50 m de ancho (0,50 m pavimentados) y externa de 2,50 m de ancho (1,00 m pavimentado), lo que permite la operación de un vehículo incluso si eventualmente se hallase otro detenido en banquina.

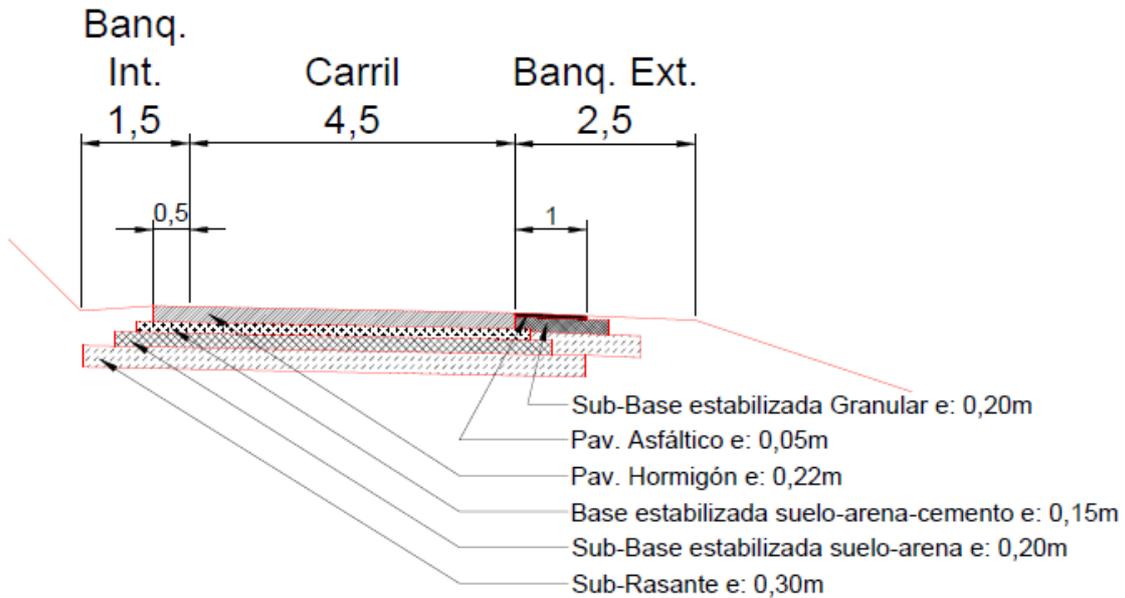


Ilustración 31. Perfil tipo ramal directo

Las **rotondas** previstas presentan una calzada de 10,00 m de ancho, aceras de 2,50 m y una falda de 1,50 m. Esto permite la operación de semi-remolques tipo “Mosquito”.

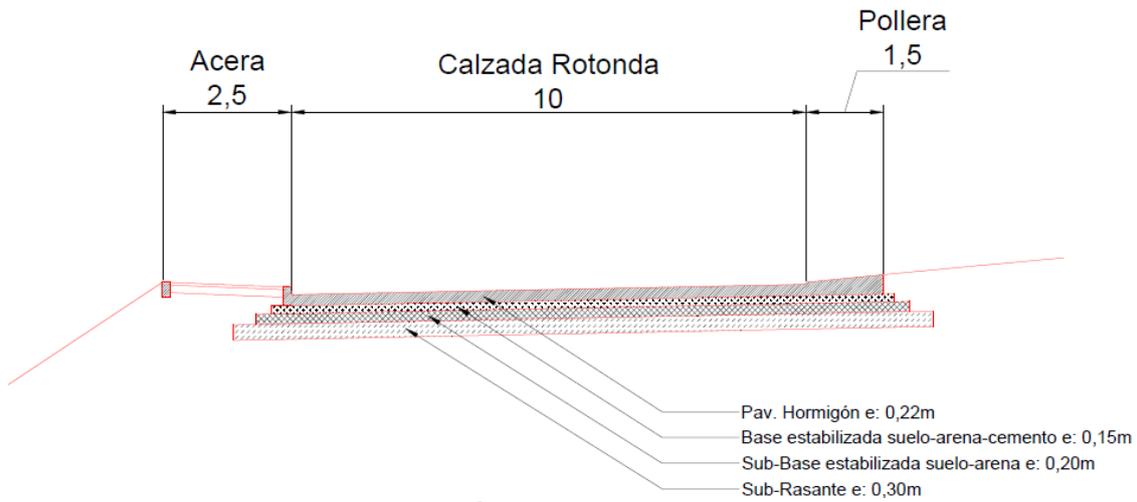


Ilustración 32. Perfil tipo rotondas

En cuanto a las calles **colectoras**, presentan un ancho de calzada de 9,00 m, acera de 3,00 m y banquina de 3,00 m. Esta sección permite la operación simultánea de 2 vehículos y la utilización del espacio paralelo al cordón para estacionamiento.

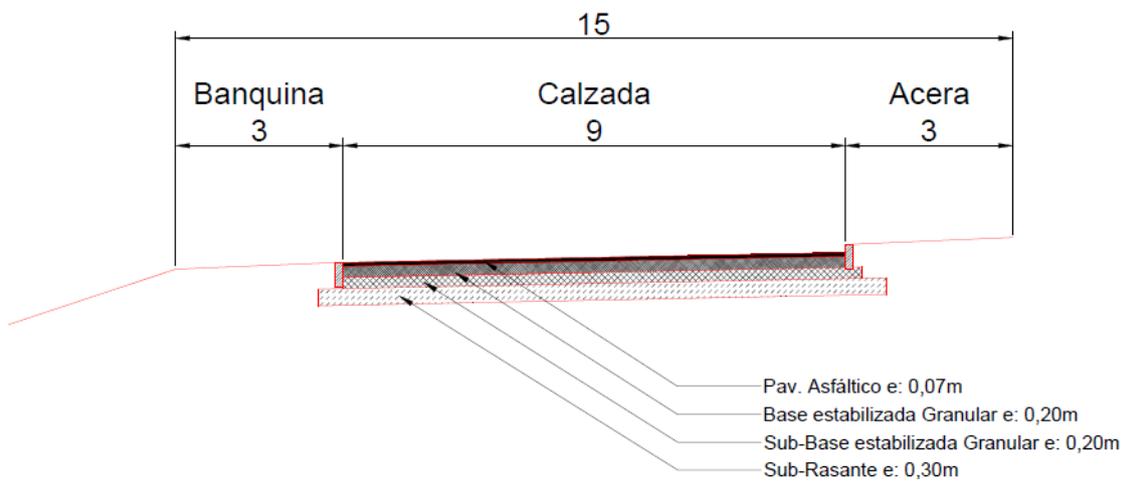


Ilustración 33. Perfil tipo calles colectoras

6 DISTRIBUIDORES

6.1 INTRODUCCIÓN

Las obras viales que permiten separar en el espacio en forma total o parcial las trayectorias vehiculares en conflicto de una intersección, se denominan intercambiadores o distribuidores de tránsito.

Un intercambiador de tránsito puede constituir una buena solución para un problema que se presenta en una intersección a nivel como consecuencia de los altos volúmenes de tránsito a los que la misma debe atender en condiciones de eficiencia y seguridad; y son el único tipo de intersección permitida en autopistas.

Los distribuidores se diferencian de los simples cruces a distinto nivel, en que ellos brindan por lo menos una conexión entre las corrientes de tránsito de los caminos que se intersecan. Los conflictos de cruzamiento quedan eliminados completamente por la separación de niveles y los de giro resultan más o menos minimizados según la configuración particular del distribuidor.

Desde el punto de vista de la seguridad es conveniente que, de ser posible, todos los distribuidores mantengan cierta uniformidad. Sin embargo, el proyecto de cada distribuidor constituye un caso particular.

6.1.1 Análisis de factibilidad

Debido a su alto costo inicial, el uso de los distribuidores, para eliminar congestiones de tránsito o para corregir condiciones de peligrosidad ya existentes, queda limitado a aquellos casos donde la inversión sea plenamente justificada.

Con respecto a las normas existentes en nuestro país, solo existen recomendaciones de la Dirección Nacional de Vialidad (D.N.V.), con la expresa aclaración de que en cada caso es necesario justificar la decisión adoptada.

En el momento en que se toma la decisión de construir una autopista con control total de accesos entre dos puntos determinados, nace la necesidad de proveer intersecciones a distinto nivel o distribuidores en cada uno de los cruces que presente la autopista proyectada con otros caminos.

Si bien el control de accesos, la existencia de un cantero central para separar los sentidos del tránsito y la eliminación de peatones y del estacionamiento son importantes, es en realidad la separación de niveles en los cruces la que provee el mayor grado de seguridad en las autopistas.

Con frecuencia, la necesidad de un distribuidor nace de la congestión que se produce en una intersección a nivel cuando los volúmenes de tránsito que circulan por ella alcanzan o sobrepasan su capacidad. Las demoras que provoca esa congestión justifican el mayor costo del mismo.

Otra justificación es la imposibilidad de eliminar puntos peligrosos del camino mediante métodos económicos, por ejemplo, utilizando canalizaciones para determinados giros, que suelen tener un alto índice de accidentes.

6.2 FACTORES A CONSIDERAR

El tipo de distribuidor a considerar y las características de su proyecto dependen de un gran número de factores, entre los cuales se pueden destacar:

- Características de los caminos que se cruzan.
- Naturaleza del área circundante.
- Velocidad directriz de ambos caminos.
- Composición del tránsito.
- Volumen de tránsito que efectúa cada uno de los giros posibles.
- Seguridad.
- Topografía de la zona.
- Área disponible como zona de camino.
- Costo de expropiación y construcción.

6.3 ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO

Para evitar movimientos erráticos e inseguros por parte del conductor, el distribuidor debe proyectarse de tal forma que no lo sorprenda. Esto se facilita mediante la uniformidad de criterio en el diseño. Las ramas de salida deberían ubicarse siempre del lado derecho; solo razones excepcionales que no admitan otra solución podrían justificar su ubicación a la izquierda de la corriente de tránsito.

De manera similar, las ramas de entrada deben siempre acceder por la derecha. Es conveniente que exista una salida por dirección y efectuar cualquier movimiento de divergencia después en la rama, fuera de la calzada principal.

6.3.1 Ubicación

Respecto a la ubicación de un distribuidor, pueden plantarse dos situaciones diferentes:

- Si se encuentra en la intersección de dos vías existentes, rara vez puede justificarse su desplazamiento, que implica además de los costos de la obra, la expropiación y reconstrucción de un tramo del camino.
- Si se trata de una vía existente con otra proyectada; suele resultar más común condicionar en alguna medida la posición del eje del proyecto para lograr una mejora en el distribuidor.

De cualquier manera, en ambos casos debe analizarse la posibilidad de construir la obra en un punto que ofrezca un cruce cuyo ángulo se aproxime a los 90°, que evite afectar edificios o instalaciones, que ofrezca ventajas desde el punto de vista topográfico y de escurrimiento.

6.3.2 Alturas relativas

Un aspecto ligado al de ubicación es el de las alturas relativas que tendrán los diferentes planos de circulación entre sí y con respecto al terreno natural.

Es frecuente que la intersección para la cual se diseña conste de dos vías, de las cuales una sea más importante que la otra. Su mayor importancia radica en que los volúmenes que conduce son mayores y consecuentemente, también suele serlo su ancho. En tal situación, pueden darse los siguientes casos:

- *Que la vía principal pase por arriba:* la vía principal tiene mejor visibilidad, ya que al pasar por arriba de la estructura no tiene obstrucciones visuales que reduzcan la capacidad. Por otra parte se garantiza un mejor desagüe y en general, resulta fácil dotarla de los requisitos de carácter geométrico deseables.

Por otra parte, la decisión lleva implícito un costo mayor, ya que se tienen calzadas más anchas, que requieren terraplenes mayores, estructuras más importantes y mayor expropiación. Incluso, en el caso de tratarse del cruce de una autopista con un camino normal, se requerirá una doble estructura.

- *Que la vía principal pase por debajo:* optar por sobreelevar el camino secundario sobre el principal, resulta más económico no solo por la disminución de terraplenes, expropiaciones y estructuras por el ancho de calzada, sino también por el hecho de que caminos de categoría inferior admiten una geometría más forzada que conduce a disminución de altura y por lo tanto de anchos, de terraplenes y expropiaciones correspondientes.

Además de analizar las alturas relativas de las vías entre sí, es preciso estudiar la que ambas guardan con el terreno del entorno. Puede estar una de ellas al nivel del mismo y sobreelevarse la otra o pasar por debajo en trinchera; o bien no encontrarse ninguna de ellas a nivel del suelo, sino una levemente sobreelevada y otra levemente excavada. Esa suele ser una solución óptima desde el punto de vista de los requerimientos de movimiento de suelos, pero rara vez es factible por problemas de drenaje en zona rural y de accesibilidad al entorno en zona urbana. Por lo tanto, en la mayoría de los casos se tiene una vía a nivel.

Tampoco es simple hacerlo bajo nivel no solo por razones de drenaje, que en zona urbana suele estar asegurado por escurrimiento superficial o por bombeo, sino por la presencia de múltiples instalaciones subterráneas tales como cloacas, provisión de agua, conductores eléctricos y telefónicos, desagües pluviales, cañerías de gas y otras, así como por los problemas de accesibilidad de los edificios adyacentes a la vía deprimida.

6.3.3 Cotas de rasantes

Para determinar la diferencia de cotas entre ambas calzadas es preciso tener en cuenta que esa diferencia debe ser la mínima posible, porque de esa forma las longitudes de las ramas de unión entre ellas también se hacen mínimas y la energía consumida para salvar la altura disminuye.

Para lograr ese objetivo, en primer lugar se debe determinar el perfil mínimo de obra que permitirá salvar los gálibos de los vehículos que circulen por la vía inferior. Actualmente la altura máxima permitida de los vehículos es de 4,30 metros, lo cual no implica que sea también el perfil mínimo de la obra, pero no resulta conveniente proyectar perfiles mínimos de obra menores a los 5,10 metros.

Si al lado de un camino se encuentra una vía ferroviaria, el gálibo de los trenes suele ser el determinante de la altura del perfil mínimo de obra.

Algo similar ocurre con los gálibos sobre ríos navegables, en cuyo caso la Dirección Nacional correspondiente es la que fija los gálibos, que suelen superar los 20 metros. Otro elemento que puede tener influencia en la fijación del perfil mínimo de obra es la presencia de canales de riego o drenaje, que requieren ser limpiados desde sus banquinas con excavadoras.

A los perfiles mínimos de obra se debe sumar la altura de las vigas y de las carpetas de desgaste en el eje de la rasante superior. Naturalmente, la altura de las vigas depende de las luces a salvar, las cargas previstas y el material y tipo de estructura

seleccionado. A ese efecto deberá tenerse en cuenta la presencia o no sobre la estructura de fajas de aceleración y/o frenado y su peralte.

6.3.4 Capacidad

En el proceso de diseño de un distribuidor se debe ir controlando que cada uno de sus elementos cumpla con las condiciones de capacidad que le corresponde de acuerdo a los volúmenes asignados.

6.3.5 Diseño geométrico

Dentro de las recomendaciones aplicables al diseño geométrico de un distribuidor, se pueden distinguir las aplicables a las vías principales que se cruzan y aquellas solo referidas a los enlaces.

Para las primeras se deben utilizar los parámetros deseables. Y, en cuanto a perfiles longitudinales convenientes, en casi todos los casos, la vía superior posee en correspondencia con el punto de cruce una curva convexa a la que preceden y siguen dos cóncavas que la enlazan con la rasante general y a la inversa, la vía inferior posee una cóncava al centro entre dos convexas.

De esas curvas verticales, las convexas deben cumplir con las exigencias de parámetros mínimos de visibilidad, mientras la cóncava central debe cumplimentar igual requisito respecto de la estructura considerada como obstrucción visual.

6.4 TIPOS DE DISTRIBUIDORES

Una clasificación primaria de los intercambiadores permite dividirlos en:

- Menores: construidos en la intersección de una autopista con una calle o camino secundario. Muchos de ellos deben complementarse con semaforización o canalizaciones en dicha calle.
- Mayores: corresponden a la intersección entre dos autopistas, y en general mantienen similar calidad en el servicio que brindan al tránsito pasante como al que efectúa movimientos de giro, ya que los giros se llevan a cabo a través de ramas directas o semidirectas.

El tipo de distribuidor deseado para el proyecto es el *Trébol de cuatro hojas con trochas adicionales en zona de intercambio*, que tienen como objeto mejorar las condiciones de seguridad y operación.

Sus ventajas son:

- Quedan eliminados todos los conflictos originados por giros a la izquierda.
- Todos los movimientos de tránsito resultan continuos y naturales.
- Puede ser construido en etapas (situación del proyecto).
- Resulta innecesaria la semaforización en el camino secundario.
- Remoción de las zonas de intercambio de las calzadas principales de la autopista mediante su traslado a trochas adicionales.
- Una sola salida y una sola entrada en cada calzada de la autopista.

Sus desventajas son:

- Ocupación de mucha superficie y altos costos de expropiación.
- Costos de la estructura mayores que en el diseño básico del trébol de cuatro hojas, como consecuencia de la mayor luz que requiere.

- Debe asegurarse suficiente distancia entre la salida de la autopista y la primera salida de las trochas adicionales, para permitir una adecuada y visible señalización.

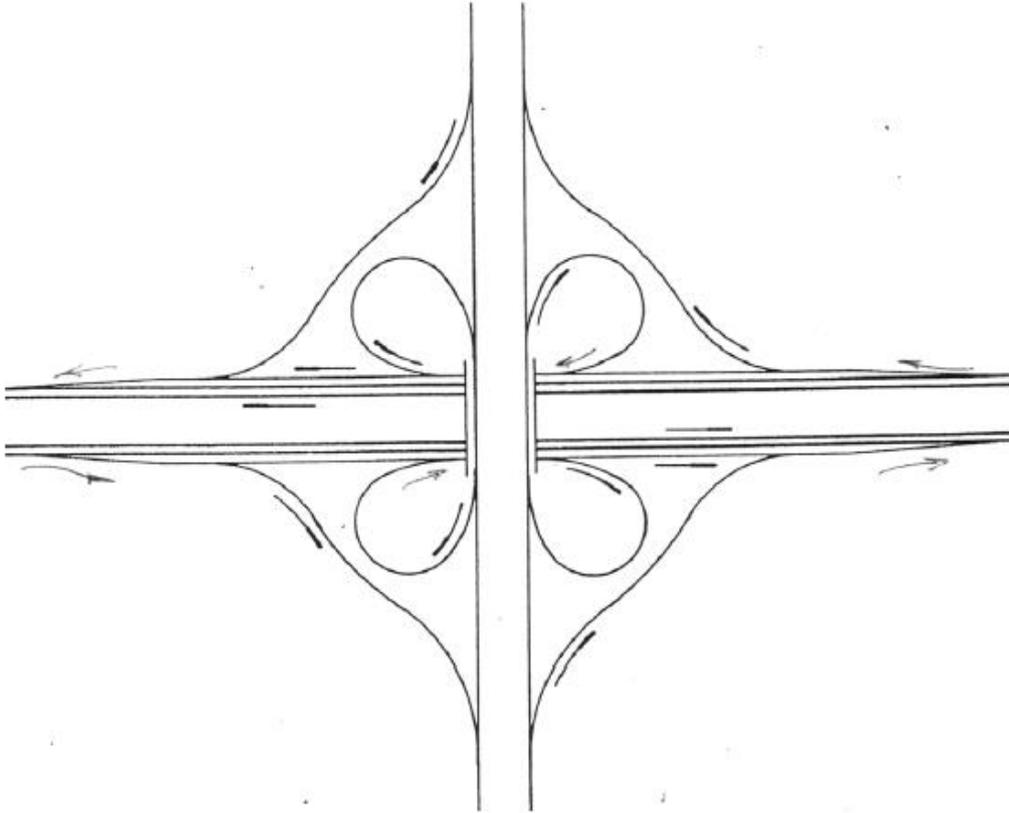


Ilustración 34. Distribuidor tipo trébol de cuatro hojas con trochas adicionales en zona de intercambio

Sin embargo, el denominado Distribuidor Bazán, previo a ser tipo trébol de cuatro hojas completo, va a ser construido como tipo *Diamante*, cuyas ventajas son:

- Una sola salida y una sola entrada, antes y después del cruce respectivamente, lo que simplifica la señalización
- Bajo costo y ocupación de poca superficie. (En realidad no se cumple porque se deja el espacio para los rulos)
- No hay zonas de intercambio en la autopista.
- No son necesarias trochas de cambio de velocidad sobre o debajo de la estructura.

En cuanto a las desventajas:

- Poca capacidad en el camino secundario debido a los giros a la izquierda.
- Dificultad para obtener buena visibilidad en la unión de las ramas con el camino secundario, especialmente cuando este cruza sobre la autopista.
- Demasiados puntos de conflicto en el camino secundario.
- Posibilidad de equivocaciones en la trayectoria a seguir por parte de los conductores.
- El tránsito que deja la autopista está obligado a detenerse al llegar al camino secundario. Esto puede obligar a tener que proyectar una longitud

excesiva de la rama para dar cabida a todos los vehículos que salen de la autopista.

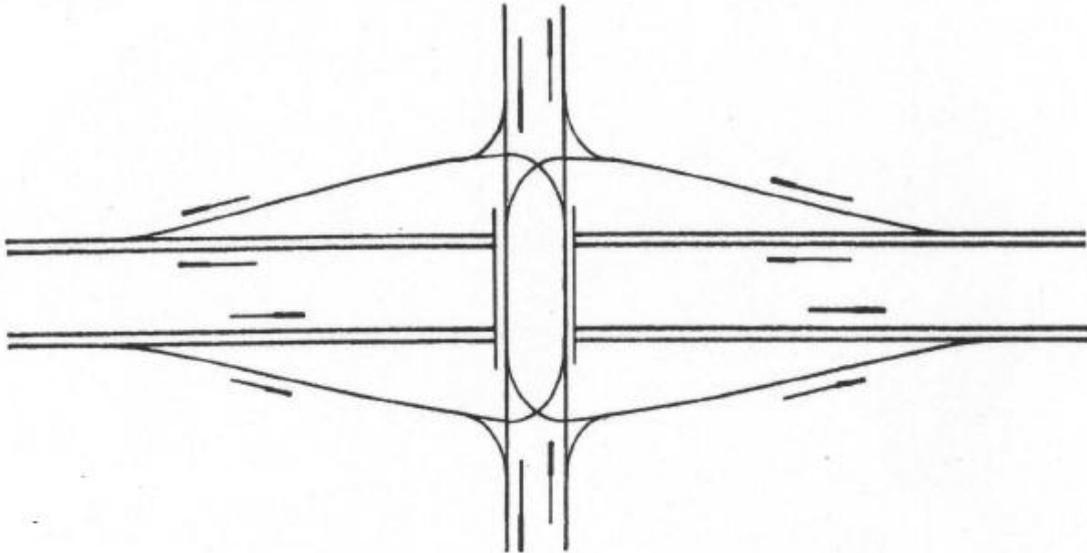


Ilustración 35. Distribuidor tipo Diamante Simple

6.4.1 Separación entre intercambiadores

Demasiada proximidad entre dos intercambiadores de una autopista suele traducirse en problemas operacionales, aun cuando se construyan trochas adicionales. Dichos problemas son consecuencia de que la distancia que generalmente queda disponible para los movimientos de intercambio, resulta insuficiente.

La separación entre intercambiadores responde lógicamente a las exigencias particulares de cada proyecto; sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad, dicha separación no puede ser menor de terminado valor. Es así como resulta aconsejable que en autopista urbanas, la distancia mínima entre intercambiadores sea de 1,6 km y para autopista rurales, de aproximadamente 2,5 km. Con separaciones de este orden se asegura una adecuada señalización y la toma de decisiones correctas por parte de los conductores, así como la realización de maniobras de entrecruzamiento sin problemas.

Estas distancias son deseables y en muchos casos no resultan aplicables porque se prioriza brindar las conexiones necesarias para el tránsito a través de los distribuidores.

6.5 RAMAS Y/O ENLACES

Se denominan ramas y/o enlaces a los tramos de vía destinados a permitir la transferencia de una a otra de las vías principales.

Las alternativas de cambios posibles para un vehículo que llega a una intersección son, desde un punto de vista general, solo dos: giro a la izquierda y giro a la derecha. Como sucede en las intersecciones a nivel, el primero es el problemático, y el segundo se resuelve fácilmente apelando a los enlaces directos.

Las soluciones son las mismas también, solo que en el caso de los distribuidores, al obviarse puntos de conflicto se requieren pasos a distinto nivel para cada uno de ellos.

Existen tres soluciones principales para permitir el giro a la izquierda, cuyos costos varían.

La más básica es la *semidirecta* que obliga a quien desea girar a la izquierda a realizar un giro previo a la derecha hasta desembocar en la ruta que se desee tomar y en esta nueva intersección efectuar el giro a la izquierda para pasar a diferente nivel cruzando la vía de la cual provenía. Sus ventajas son su economía y limitado recorrido extra para quien efectúa la maniobra. Al ocupar una zona relativamente restringida, suele ser la única admisible en casos de zona urbana. Su principal inconveniente es que crea nuevos puntos de fricción en las intersecciones terminales y los enlaces de la segunda vía, por eso, siempre se diseña para que estos conflictos se produzcan sobre la vía menos importante de las que se cruzan.

Para evitar algunos problemas de los enlaces semidirectos se suelen usar *rulos* o *lazos* que son arcos de círculo de uno o más radio, cuyos ángulos al centro sumados completan 270 grados, cuando el cruce entre las vías es perpendicular.

En estos enlaces el ingreso a la vía de destino se hace mediante una convergencia con el tránsito pasante, permitiendo que la velocidad original de los vehículos solo se vea disminuida en la medida que los radios mínimos del lazo así lo exijan. Su construcción en zona urbana conduce a la necesidad de disponer por lo menos de una manzana por cuadrante en torno a la intersección, y así mantener pendientes suaves para salvar la diferencia de cotas entre ambas vías. Además, la mayor velocidad que permite su operación continua puede quedar neutralizada por el tiempo necesario para recorrer una mayor longitud que por otra parte implica mayores costos operativos.

Cuando los volúmenes de giro son de gran magnitud, los costos operativos se tornan tan importantes, que ninguna de las soluciones previas resulta conveniente; en tales casos se requiere un enlace que permita efectuar el giro a la izquierda a alta velocidad y acortando recorridos.

Esto se consigue mediante un enlace *directo* o *direcciona*, que lleva a efectuar el giro a la izquierda con igual facilidad que el giro a la derecha. El mismo puede tomar varias formas, pero todas ellas conducen a elevados costos de construcción. Mientras que en los enlaces antes mencionados se requiere no más de una estructura o como mucho dos gemelas, para los enlaces directos se necesitan varias estructuras con luces considerables.

Como los volúmenes necesarios para justificar estas obras son de magnitud extraordinaria, solo se las suele encontrar en zona urbana o suburbana.

6.5.1 Separación entre ramas

Las zonas de comienzo o de finalización de las ramas deben estar lo suficientemente separadas como para permitir que los conductores tomen las decisiones correspondientes con la anticipación necesaria para poder realizar maniobras seguras. En el caso de salidas sucesivas, la separación debe ser tal que permita el adecuado señalamiento. En cambio, cuando se trate de entradas sucesivas, deberá asegurarse que las maniobras de convergencia de la primera entrada puedan completarse sin inconvenientes antes de la segunda.

6.5.2 Perfiles transversales de ramas

Se debe distinguir entre el perfil transversal de las calzadas principales y el de los enlaces. Lo ideal es que el perfil transversal de las calzadas principales se mantenga sin cambios en la zona del distribuidor.

Sin embargo, en ciertos casos de estructuras de gran longitud, el costo de mantener ese perfil transversal resulta muy elevado, y la decisión de mantenerlo depende estrictamente de un estudio económico para cada caso.

Por su parte, los enlaces, no mantienen los anchos clásicos en los carriles, sino que los mismos vienen dados fundamentalmente por los vehículos de diseño utilizados, para lo cual se utiliza la tabla correspondiente en el Plano Tipo OB2 de la DNV.

TABLA I – ANCHOS DE PAVIMENTO DE RAMAS Y/O CAMINOS DE ENLACE

RADIO DEL BORDE INTERNO DEL PAVIMENTO	CASO I 1 CARRIL 1 SENTIDO DE MARCHA S/ SOBREPASO DE VEHICULO DETENIDO			CASO II 1 CARRIL 1 SENTIDO DE MARCHA C/ SOBREPASO DE VEHICULO DETENIDO			CASO I 2 CARRILES 1 ó 2 SENTIDOS DE MARCHA		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.50	5.50	7.00	7.00	7.50	8.75	9.50	10.50	12.75
20	4.75	5.25	5.75	6.25	7.00	8.25	8.75	10.00	11.25
30	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	7.50	8.50	9.50	10.50
45	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	7.25	8.25	9.00	10.00
60	4.00	4.75	4.75	5.75	6.25	7.00	8.25	8.75	9.50
90	4.00	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	9.00
120	4.00	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
150	3.65	4.50	4.50	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
RECTA	3.65	4.50	4.50	5.25	5.75	8.25	7.50	8.25	8.25
MODIFICACION DEL ANCHO SEGUN EL TRATAMIENTO LATERAL USADO									
BANQUINA NO ESTABILIZADA	NINGUNA			NINGUNA			NINGUNA		
CORDON MONTABLE									
CORDON NO MONTABLE * 1 LADO 2 LADOS	AUMENTAR EN 0.25 AUMENTAR EN 0.50			NINGUNA AUMENTAR EN 0.25			AUMENTAR EN 0.25 AUMENTAR EN 0.50		
BANQUINA ESTABILIZADA EN UNO O AMBOS LADOS	NINGUNA			DEDUCIR EL ANCHO DE LA BANQUINA ESTABILIZADA DEL PAV. MIN. ABSOLUTO= CASO I			DISMINUIR EN 0.50 CON BANQUINA DE 1.20 O MAYOR		

CONDICION A: CUANDO EL NUMERO DE AUTOS ES PREDOMINANTE, PERO SE TIENEN TAMBIEN EN CUENTA ALGUNOS CAMIONES DE DOS EJES Y OMNIBUS.

CONDICION B: CUANDO EL NUMERO DE CAMIONES DE DOS EJES Y OMNIBUS, SON SUFICIENTES COMO PARA GOBERNAR EL DISEÑO (DEL 5 AL 10 % DEL TRANSITO TOTAL), PERO SE TIENEN TAMBIEN EN CUENTA ALGUNOS CAMIONES CON ACOPLADOS Y SEMIREMOLQUES.

CONDICION C: CUANDO EL NUMERO DE CAMIONES CON ACOPLADOS Y SEMIREMOLQUES ES SUFICIENTE PARA GOBERNAR EL DISEÑO.

* A USAR SOLAMENTE EN CASOS ESPECIALES.

Tabla 10. Anchos de enlace según Plano Tipo OB2 de la DNV

6.5.2.1 Zonas adyacentes al comienzo de las ramas de salida

Las zonas adyacentes al comienzo de las ramas de salida y aquellas ubicadas donde una rama se divide en dos, constituyen lugares peligrosos para la seguridad de las autopistas, por lo que merecen un tratamiento especial. En particular, las mismas deben estar libres de toda obstrucción para que puedan ofrecer una amplia área de recuperación para aquellos vehículos que, al querer tomar la rama de salida, pierdan control e invadan la “nariz” de la misma.

Estas zonas deben construirse lo más niveladas posible con respecto al pavimento de la calzada principal, de manera tal que los vehículos que se salgan del mismo no resulten detenidos o levantados por una pendiente pronunciada.

Asimismo, la “nariz” y su área circundante deben estar libres de soportes para señales, columnas de alumbrado, cordones, árboles y arbustos.

Las señales necesarias para indicar la salida deben colocarse anticipadamente en pórticos o estructuras tipo “cantiléver”. Y cuando la colocación de señales verticales en las narices es inevitable, el montaje de las mismas debe ser hecho sobre soportes frangibles de cualquier tipo y el dado de hormigón utilizado como fundación no debe sobresalir del suelo.

Sin embargo, siempre es conveniente que estas áreas además de ser lo más llanas posible, se encuentren siempre totalmente libres.

Donde es inevitable la existencia de obstrucciones de gran volumen, como pilares de puentes, deben colocarse amortiguadores de impacto.

En la siguiente ilustración se pueden observar los detalles de las narices de entrada y salida de las conexiones.

NOTAS:

- a = TRANSICION ANCHO DE RAMA 1:15.
- b = ANCHO DE RAMA SEGUN TABLA I, CASO I – B & C.
- c = PAQUETE ESTRUCTURAL SIMILAR AL DE LA RAMA, SUPERFICIE CONTRASTANTE.

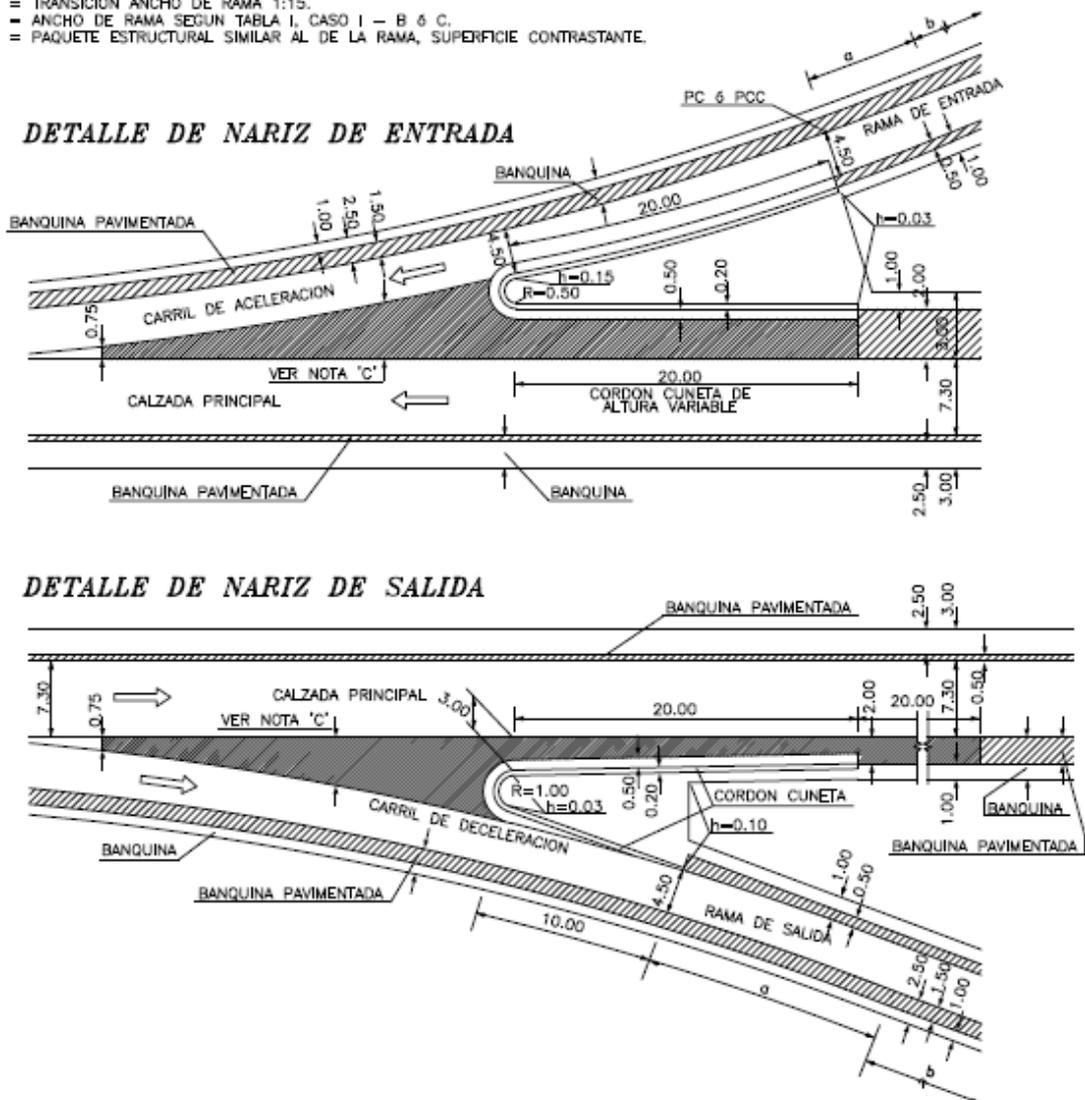


Ilustración 36. Detalle de narices según Plano Tipo OB2 de la DNV

6.5.3 Conexiones

Uno de los aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento de los distribuidores es un buen diseño de las conexiones entre los enlaces y las vías principales.

El egreso de una vía implica una maniobra de divergencia que debe hacerse sin perturbar al tránsito que sigue al vehículo que se introduce en el enlace. Para eso, la salida debe ser tan natural para el conductor que se aparta del flujo, que no sienta la necesidad de disminuir su velocidad dentro del carril de la vía principal, ni efectuar maniobras bruscas de giro; y por otra parte no debe inducir a error a los conductores que tienen intención de continuar por la vía principal y que se guían por el borde de la calzada.

Para salvar todos los problemas mencionados, se fijan normas estrictas en lo que se refiere a longitudes de faja de frenado, así como en los radios de las curvas que siguen a esa faja y el ángulo que debe formar con el eje principal. Lo que conduce a una planimetría en suave transición para el egreso.

Respecto a las confusiones de los conductores que toman erróneamente el desvío, se salva la situación pavimentando un tramo de banquina completa más allá de la nariz de la calzada principal, que permite un retorno seguro a su trayectoria deseada. Además, se bordea la nariz con un cordón cuneta montable, para evitar accidentes por ese tipo de maniobras y también lograr un drenaje adecuado.

En las conexiones de ingreso ocurre una situación similar, en las cuales la maniobra de convergencia (más compleja) requiere una prolongada faja de aceleración a lo largo de la cual se producen los ajustes de velocidad relativa entre los vehículos que circulan por la vía principal y los que ingresan a ella.

Tanto las ramas de salida como las de entrada a la autopista deben tener similares características físicas y de operación que ésta.

Las ramas de salida deben tener normalmente una sola trocha en su unión con la autopista, sin perjuicio de que luego pueda ser ensanchada para incrementar su capacidad.

La velocidad de diseño de las ramas tiene que estar relacionada con la velocidad directriz de los caminos que se cruzan. Esta velocidad de diseño debería estar próxima al promedio de las velocidades de operación que corresponden a las trochas de las calzadas principales, pero las limitaciones de espacio y factores económicos, fuerzan a menudo a considerar velocidades de diseño menores. En la siguiente tabla se dan valores de velocidad de diseño de las ramas en función de la velocidad directriz de la autopista.

Velocidad Directriz de la Autopista en Km/h									
	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Velocidad de diseño de la Rama en Km/h									
Deseable	50	60	70	80	80	90	100	100	110
Mínima	40	40	50	50	50	60	60	70	70

Tabla 11. Relaciones entre velocidad directriz de autopista y velocidad de diseño en ramas
(Fuente: Manual de Diseño Geométrico Vial, Tomo II de la cátedra Transporte II)

Las velocidades indicadas para el diseño de las ramas representan solamente una guía para la aplicación de lo mencionado previamente. Son válidas para ramas directas, semidirectas o indirectas, tratando de efectuar el diseño de la rama con los valores deseables. Cuando eso no sea posible para cierto tipo de ramas, deberá recurrirse a los valores mínimos.

Una de las principales consideraciones a tener en cuenta en la ubicación de las salidas es su visibilidad. El conductor debe tener adelantada y buena visibilidad del punto donde se encuentre el comienzo de la rama. Esta distancia de visibilidad no debe ser menor a 300 m. Las ramas cuyo comienzo no es claramente visible con anterioridad constituyen un peligro como causa de accidentes por maniobras bruscas e inesperadas.

En las ramas indirectas en curva, tipo “hojas de trébol”, es conveniente proyectar siempre una curva de radio constante que facilita la operación del conductor.

Las ramas de salida deberían comenzar siempre en un tramo recto de la calzada principal. Cuando esto no resulta posible y se debe colocar el comienzo de la salida en una curva de la autopista, es necesario proveer una trocha de deceleración de adecuada longitud y además, dicho comienzo debe ubicarse alejado del punto donde empieza la curva horizontal de la calzada principal para asegurar la velocidad.

Las ramas de entrada poseen, por lo general, una sola trocha. Cuando las necesidades del tránsito requieran que la rama posea dos trochas, se debe proveer una trocha adicional en la calzada principal de la autopista donde converge la trocha externa de la rama mediante una transición normal. Esta trocha adicional puede continuar en la autopista o puede concluir, luego de una distancia apropiada (460 m como mínimo), también con una transición normal. Dicha distancia dependerá de los volúmenes de tránsito.

En el mencionado Plano Tipo OB2 de la DNV se encuentran reunidos todos los elementos para efectuar un diseño de conexiones que satisface los requisitos del actual estado de tecnología.

6.5.4 Carriles de deceleración y aceleración

La longitud de una trocha de deceleración se basa en la combinación de tres factores:

- La velocidad a la cual el conductor entra a la trocha de deceleración;
- La velocidad a la cual gira al salir de la trocha de deceleración, y
- La forma en que se realiza la deceleración.

Para determinar la longitud de la trocha se formula la siguiente hipótesis:

1. El vehículo circula a la velocidad de operación de la autopista al comienzo de la trocha de deceleración;
2. Luego, durante tres segundos, el conductor disminuye la velocidad levantando el pie del acelerador pero sin utilizar los frenos;
3. Finalmente, con la ayuda de éstos, disminuye gradualmente aún más su velocidad hasta alcanzar el promedio de la velocidad de operación correspondiente a la curva en el comienzo de la rama.

La longitud de las trochas de aceleración depende, como en el caso anterior, de tres factores:

- La velocidad a la cual converge el vehículo que entra con el tránsito a la calzada principal;
- La velocidad que tiene el vehículo al comienzo de la trocha de aceleración, y
- La forma en que se realiza la aceleración.

También influye la relación existente entre el volumen de tránsito de la calzada principal y el volumen de tránsito que accede a la misma. Son deseables longitudes mayores de la trocha de aceleración cuanto mayores sean los volúmenes del tránsito que accede a la autopista para que la convergencia de ambos tránsitos sea segura.

La velocidad a la cual se supone que el vehículo se incorpora a la corriente de tránsito de la calzada principal se ha establecido en 8 km/h menos que el promedio de la velocidad de operación de dicha corriente. En cambio, la velocidad a la cual entra el vehículo a la trocha de aceleración se supone como el promedio de la velocidad de operación que corresponde al radio de la curva de la rama.

En la Tabla 12 figuran los valores deseables de longitudes de las trochas de deceleración, aceleración y de las transiciones en función de las velocidades directrices de las calzadas principales de las autopistas y de la curva al comienzo/final de la rama de salida/entrada. Estos valores son para pendientes menores o iguales al 2%, para pendientes mayores se encuentran factores de corrección en la Tabla 13.

Además, en la Ilustración 37 pueden observarse los detalles de los carriles de aceleración y deceleración.

Dichas tablas e ilustración corresponden al Plano Tipo OB2 de la DNV para el diseño de conexiones.

TABLA II – LONGITUD DE DISEÑO DE CARRILES DE DECELERACION Y ACELERACION
PARA PENDIENTES \leq | 2% |

VELOCIDAD DISEÑO DE RAMA (Km/h)		CONDICION DE FRENADO	30	35	40	45	50	60	70	80
CURVA DE RADIO MINIMO (m)		—	26	36	47	60	75	111	156	210
VELOCIDAD DIRECTRIZ DE LA RUTA (Km/h)	LONGITUD 'A' DE TRANSICION (m)	LONGITUD TOTAL DEL CARRIL DE DECELERACION 'L' INCLUYENDO LA LONGITUD DE TRANSICION 'A' (m).								
70	60	110	100	90	85	80	75	—	—	—
80	70	130	115	110	105	100	95	—	—	—
90	80	145	135	130	125	120	115	110	—	—
100	85	160	155	150	145	140	135	120	100	—
110	90	180	170	165	165	160	150	135	115	110
120	95	200	185	180	180	175	170	150	140	125
130	100	215	205	200	200	190	180	165	150	140
VELOCIDAD DIRECTRIZ DE LA RUTA (Km/h)	LONGITUD 'A' DE TRANSICION (m)	LONGITUD TOTAL DEL CARRIL DE ACELERACION 'L' INCLUYENDO LA LONGITUD DE TRANSICION 'A' (m).								
70	60	—	120	110	110	—	—	—	—	—
80	70	—	200	190	180	165	145	—	—	—
90	80	—	280	265	255	235	220	175	—	—
100	85	—	360	345	330	315	295	245	165	—
110	90	—	440	425	405	390	375	320	250	160
PERALTE MINIMO COMPATIBLE CON CURVAS DE RADIO MINIMO EN INTERSECCIONES (m/m)		*	*	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09	**	**

NOTAS: EN ZONAS SUJETAS A NIEVE O HIELO EL PERALTE MAXIMO SERA ENTRE 0.06 Y 0.08 SEGUN INSTRUCCIONES; EN OTRAS ZONAS, EN INTERSECCIONES, EL PERALTE PUEDE LLEGAR AL 0.12.

* MINIMO PARA ASEGURAR EL DRENAJE TRANSVERSAL.

** SEGUN TABLA 3 6 4 DE LAS "NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINOS RURALES" DE LA D.N.V.

Tabla 12. Longitudes de carriles de deceleración y aceleración según Plano Tipo OB2 de la DNV

TABLA III – FACTORES DE CORRECCION PARA PENDIENTES \geq | 2% |

CARRIL DE DECELERACION							
VELOCIDAD DIRECTRIZ DE DISEÑO Km/h	LONGITUD EN PENDIENTE = FACTOR x LONGITUD DE TABLA II						
PARA CUALQUIER VELOCIDAD	3 a 4 % ASCENDENTE 0.9			3 a 4 % DESCENDENTE 1.2			
PARA CUALQUIER VELOCIDAD	5 a 6 % ASCENDENTE 0.8			5 a 6 % DESCENDENTE 1.35			
CARRIL DE ACELERACION							
LONGITUD DE DISEÑO DE CARRILES DE DECELERACION Y ACELERACION							
VELOCIDAD DIRECTRIZ DE DISEÑO (Km/h)	LONGITUD EN PENDIENTE = FACTOR x LONGITUD DE TABLA II						
	VELOCIDAD DE DISEÑO DE RAMPA (Km/h)						
	30	40	50	60	70	80	CUALQUIER VELOCIDAD
	3 a 4 % ASCENDENTE			3 a 4 % DESCENDENTE			
70	1.3	1.3	1.3	—	—	—	0.7
80	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	—	0.65
90	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	0.6
100	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	0.6
110	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	0.6
	5 a 6 % ASCENDENTE			5 a 6 % DESCENDENTE			
70	1.5	1.5	1.5	—	—	—	0.6
80	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	—	0.55
90	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	0.5
100	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	0.5
110	2.0	2.1	2.2	2.4	2.7	3.0	0.5

NOTA: LA PENDIENTE ES EL PROMEDIO ENTRE LAS CORRESPONDIENTES A LOS PUNTOS B y C.

Tabla 13. Factores de corrección para pendientes > 2% según Plano Tipo OB2 de la DNV

NOTAS:

R=300 m PARA VELOCIDAD DE DISEÑO DE RUTA HASTA 70 Km/h, R=600 m. PARA VELOCIDADES MAYORES. CUANDO EN EL SENTIDO DEL TRANSITO, LA RUTA ES EN CURVA CON GIRO A LA DERECHA, EL PROYECTISTA DEBERA SELECCIONAR UN RADIO DE ENTRADA AL CARRIL DE ACELERACION CON UNA CONVERGENCIA CON RESPECTO A LA RUTA, SIMILAR A LA DADA POR EL ESQUEMA MOSTRADO. CUANDO EN EL SENTIDO DEL TRANSITO, LA RUTA ES EN CURVA CON GIRO A LA IZQUIERDA, LA SECCION DE ENTRADA AL CARRIL DE ACELERACION DEBERA SER EN TANGENTE.

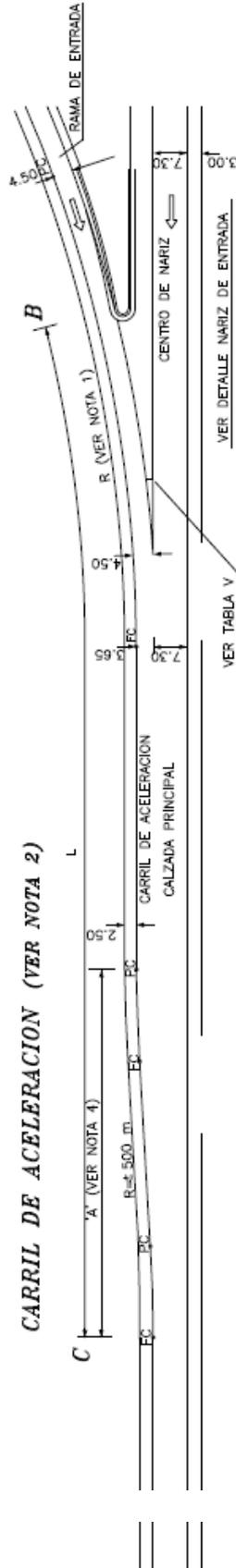
LA TRANSICION 'A' SERA DE 1:50 Y NO SE REQUERIRA DE CURVAS R=500 m DE EMPALME PARA VELOCIDADES DE DISEÑO DE RUTA MAYORES DE 110 Km/h.

SE ENTARA EL DISEÑO DE RAMAS DE SALIDA EN CURVAS DE LA RUTA PRINCIPAL CON GIRO A LA IZQUIERDA. EN CASO CONTRARIO, SU DISEÑO SE SOMETERA A LA APROBACION EN LA ETAPA PRELIMINAR.

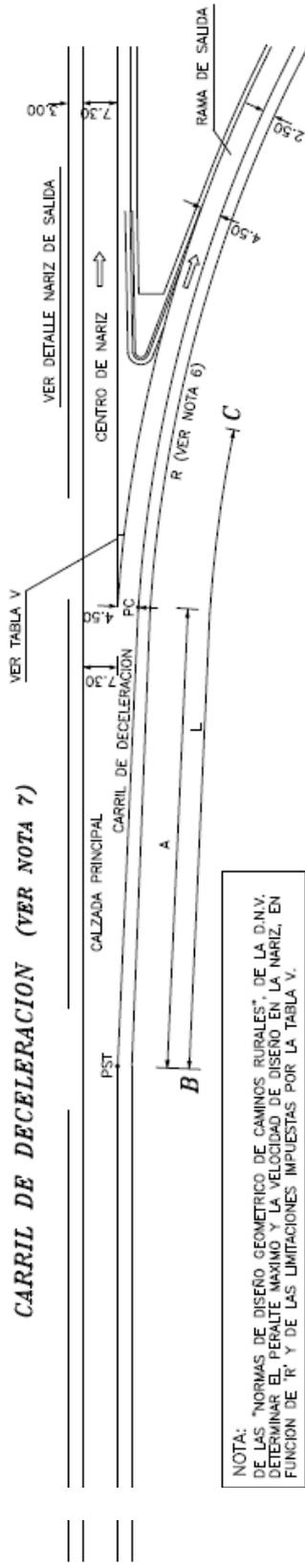
250 m $R \leq R \leq 500\text{ m}$ PARA VELOCIDAD DE DISEÑO DE LA RUTA HASTA 100 Km/h, R=500 m PARA VELOCIDADES MAYORES, LA LONGITUD MINIMA DEL ARCO DE CURVA SE FUJARA DE ACUERDO CON LA TABLA IV.

CUANDO EN EL SENTIDO DEL TRANSITO, LA RUTA ES EN CURVA CON GIRO A LA DERECHA, DEBERA SELECCIONARSE UN RADIO PARA EL CARRIL DE DECELERACION, CON UNA DIVERGENCIA CON RESPECTO A LA RUTA, SIMILAR A LA INDICADA EN EL ESQUEMA.

CARRIL DE ACELERACION (VER NOTA 2)



CARRIL DE DECELERACION (VER NOTA 7)



NOTA: DE LAS "NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINOS RURALES", DE LA D.N.V. DETERMINAR EL PERALTE MAXIMO Y LA VELOCIDAD DE DISEÑO EN LA NARIZ. EN FUNCION DE 'R' Y DE LAS LIMITACIONES IMPUESTAS POR LA TABLA V.

Ilustración 37. Detalles de carriles de aceleración y deceleración según Plano Tipo OB2 de la DNV

6.6 CALLES Y CAMINOS SECUNDARIOS

Cuando se proyecta una rama o un intercambiador completo, se deben tener en cuenta los problemas operacionales y los derivados de la distancia de visibilidad que puedan producirse en el sistema local de calles.

Se debe tratar de lograr diseños simples en las zonas de las ramas que conectan con el camino o calle secundaria; esto induce no solo a que se produzcan pocos movimientos equivocados, sino que también mejora el aspecto operacional de la intersección. Intersecciones complicadas requieren una cantidad excesiva de señales y otros dispositivos de control de tránsito, que suelen confundir a los conductores y limitan su distancia de visibilidad cuando abundan.

Las calles colectoras son frecuentemente necesarias para proveer continuidad al sistema de calles del área, siendo también imprescindibles construirlas para dar acceso a la propiedad frentista.

Desde el punto de vista de la seguridad, siempre es preferible que la calle colectoras tenga una sola mano; principalmente por los problemas que se presentan en las conexiones con las ramas.

Cuando la calle colectoras es utilizada conjuntamente con una intersección a nivel (tipo canalizada o rotatoria), la intersección de la misma con el camino o calle secundaria debe encontrarse, por lo menos, a 50 m de la intersección de las calzadas principales en áreas urbanas y a 100 m en áreas rurales. Esto facilita la señalización, minimiza los conflictos del tránsito y reduce la posibilidad de movimientos equivocados para entrar en las calzadas principales.

6.7 DISTRIBUIDOR RUTA PROVINCIAL N°5

Como se comentó anteriormente, el intercambiador en la intersección entre Circunvalación y la RP N°5 tiene una tipología de trébol incompleto, el cuarto ramal no pudo realizarse debido a limitaciones del uso de suelo, y las principales intervenciones proyectadas son:

- Complementación del intercambiador mediante la construcción de los ramales necesarios para realizar el giro a la derecha en dicha intersección:
 - Este-Norte: permite la salida directa desde la autopista hacia la Av. Armada Argentina.
 - Norte-Oeste: permite el ingreso directo a la autopista desde la Av. Armada Argentina.
 - Oeste-Sur: permite la salida directa desde la autopista hacia la Ruta Provincial N°5.
- Futura sistematización del cuadrante Norte, cruce calle Cacheuta-Canal Maestro, mediante intersección canalizada y semaforizada.
- Futura sistematización del cuadrante Norte, cruce calle Piamonte, mediante intersección canalizada y semaforizada.
- Futura sistematización del cuadrante Sur, cruce calles Lago Argentino-Defensa-Acceso CPC, mediante nudo vial con intersección a distinto nivel.

6.8 DISTRIBUIDOR BAZÁN

A diferencia del intercambiador de la Ruta Provincial N°5, el intercambiador en la intersección con la calle Colonia Impira, frente a la usina Bazán de EPEC, se proyectó desde cero.

Actualmente en la zona solo hay dos curvas de retorno, una para cada sentido como se ve en la imagen debajo, y además, se puede observar que el intercambiador es necesario por la falta de accesibilidad que hay para las zonas de adentro y fuera del anillo de Circunvalación.



Ilustración 38. Estado actual de la zona del Distribuidor Bazán

Las características principales del distribuidor proyectado frente a la Usina Bazán, son:

- Intercambiador tipo diamante con futura ampliación a trébol completo.
- Futura pista segregada para movimientos de entrecruzamiento.
- Intersecciones tipo rotonda, cuadrantes Norte y Sur para vinculación de colectoras, ramales y vía secundaria.
- Vía secundaria con futura ampliación a Boulevard, con dos carriles por sentido de circulación y veredas.

Todas estas características pueden verse en detalle en los planos viales de licitación que se encuentran en el anexo N°3, al igual que las correspondientes a las del Distribuidor RP N°5.

7 DRENAJE

7.1 SISTEMA DE DRENAJE

La presencia de un camino, una autopista, una vía férrea o de las pistas de aterrizaje de un aeropuerto, ya sea porque están sobre el terreno natural, materializada con terraplenes, o ubicados debajo de este, alteran el relieve natural del sector provocando lo que se conoce como “efecto barrera” en los escurrimientos de los excedentes pluviales de las cuencas o sub-cuencas atravesadas por la obra.

Si este efecto no es tenido en cuenta en el diseño de la obra, no solo puede ocasionar inconvenientes en la infraestructura de la vía, sino que puede tener consecuencias negativas sobre los terrenos y propiedades colindantes a la misma, afectando al medio ambiente en que se desarrolla.

El efecto barrera incide sobre los escurrimientos superficiales provocando distintas alteraciones tales como:

- Captación y modificación del sentido de escurrimiento, con posibilidades de producir trasvases de una cuenca a otra.
- Retención y embalse aguas arriba del terraplén con inundaciones.
- Paso por encima de la rasante del agua embalsada, con potencial efecto de hidroneo para el tránsito vehicular.
- Potenciación de procesos erosivos como consecuencia de la concentración de escurrimientos.

Retomando el desarrollo de la obra contemplada en este informe, para evitar las consecuencias del efecto barrera, los excedentes pluviales de la zona de camino así como los aportes de las cuencas externas se manejaron superficialmente, a través de cunetas revestidas en hormigón y sus obras de arte complementarias.

Desde la progresiva 24+500 en el intercambiador RP N°5 y la progresiva 25+960, frente a la Usina Bazán, las cunetas presentan pendiente hacia el Este, descargando finalmente al sistema de desagüe subterráneo conocido como “Canal Anizacate” en el cuadrante N-O del distribuidor RP N°5.

Desde la progresiva 25+950 y hasta el cruce con el Arroyo La Cañada, las cunetas presentan pendiente hacia el Oeste, descargando en el citado Arroyo.

La determinación de los caudales que deberán evacuar las obras del sistema de drenaje se puede realizar a partir de aforos preexistentes en cada uno de los puntos de interés, o bien utilizando métodos indirectos de cálculo.

La primera de estas posibilidades es de difícil implementación ya que por la linealidad de la obra se generan muchos puntos de cruce con la red de escurrimiento, entonces, la determinación de los caudales en forma indirecta permite solucionar este inconveniente.

Cualquiera sea el método o modelo utilizado para el cálculo, todos tienen en común que parten de dos datos de base:

- Características de las cuencas de aporte, y
- Características de las precipitaciones.

7.2 ESTUDIO DE CUENCAS – DATOS BASE

Las principales características de una cuenca a tener en cuenta para modelar adecuadamente la dinámica de la misma son:

- Superficie y forma, definidos por las divisorias de aguas.
- Red de drenaje y su cauce principal.
- Tipo de suelo.
- Tipo y distribución de la cubierta vegetal.
- Uso del suelo, actual y futuro.
- Pendiente media y del cauce principal.
- Existencia de enlagunamientos y retenciones.
- Presencia de infraestructuras que puedan alterar las escorrentías naturales.

Para el estudio y delimitación de las cuencas que atraviesa el proyecto del cierre del arco Oeste la Ruta Nacional A-019, tramo 1-A (entre progresivas 24+500 y 26+950), se utilizaron los siguientes datos de base:

- Cartas catastrales escala 1:20.000
- Modelo Digital de Elevaciones SRTM1 con una resolución de aproximadamente 30 m.
- Base cartográfica vectorial
- Imágenes satelitales
- Base de datos del sistema de desagüe pluvial de la Municipalidad de Córdoba
- Identificación en campo de obras hidráulicas y hechos naturales.

Empleando el software QGIS (GIS (siglas en inglés) = Sistema de Información Geográfica) para visualizar, editar y analizar los datos de base se pudo visualizar las cuencas naturales (topográficas) y las reales (existentes, afectadas por infraestructura), y sus características.

7.2.1 Delimitación de cuencas

La delimitación de cuencas se realizó en dos pasos, el primero consiste en el trazado manual de las mismas a partir de los datos base descriptos anteriormente, y por último la verificación y ajuste por algoritmos computacionales.

A partir de estas tareas se obtienen las cuencas topográficas o naturales, las que a su vez son delimitadas por las obras de desagüe que las atraviesan y captan, obteniendo así los límites de las cuencas reales que aportan al trazado.

En las Ilustraciones 39, 40 y 41 se puede ver la delimitación de las cuencas naturales en el software QGIS utilizando como base, un fondo con colores escalados en función de las alturas topográficas, una carta catastral y la base de datos del sistema de desagüe pluvial de la Municipalidad de Córdoba, respectivamente.

Finalmente, en la ilustración 42, se puede observar la delimitación de las cuencas reales que existen en el área del proyecto.

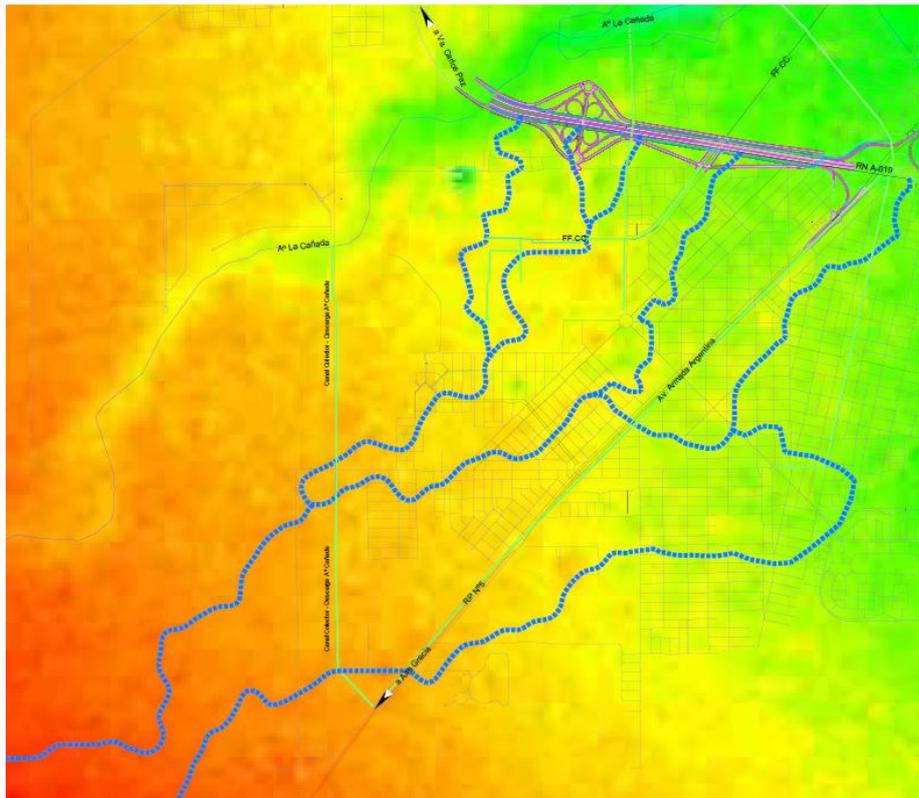


Ilustración 39. Cuencas naturales utilizando QGIS

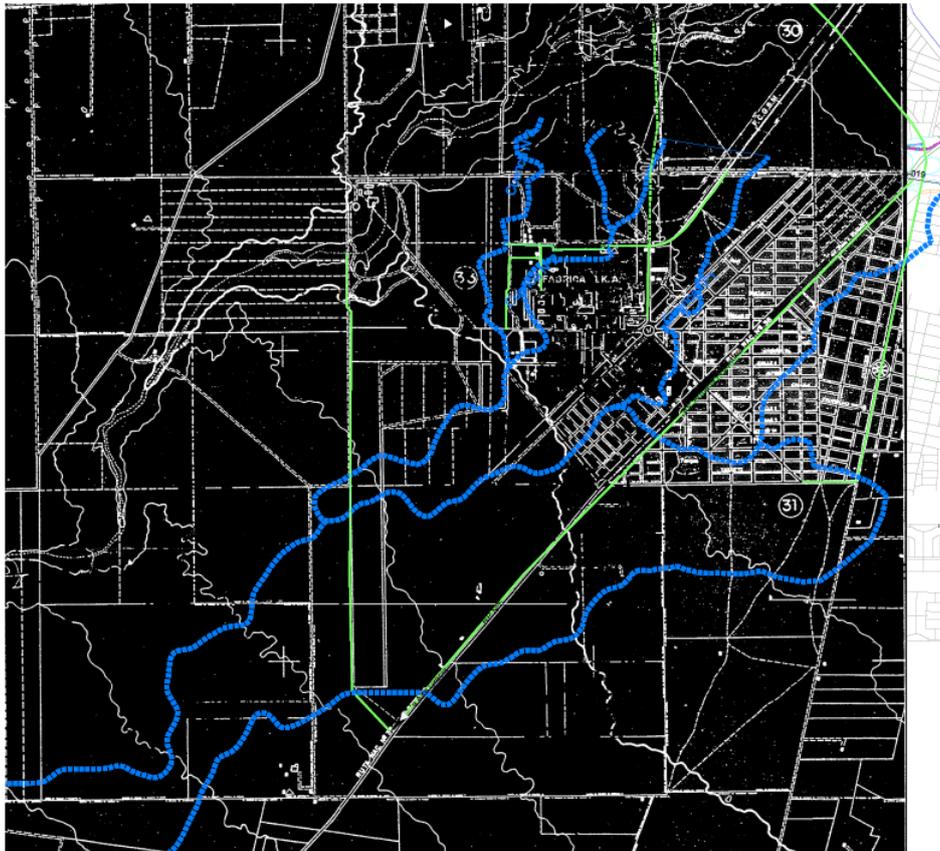


Ilustración 40. Cuencas naturales utilizando QGIS y carta catastral

Cierre de Avenida de Circunvalación
Distribuidor RP N°5 – Distribuidor “El Tropezón” – Tramo 1A

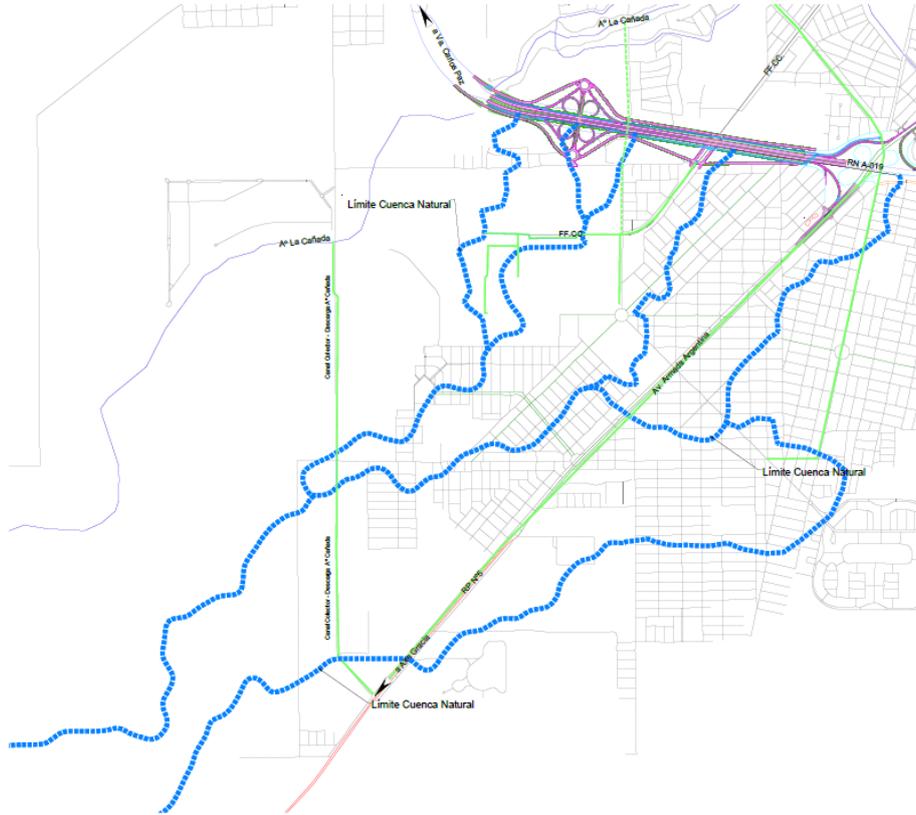


Ilustración 41. Cuencas naturales utilizando QGIS y datos del desague pluvial

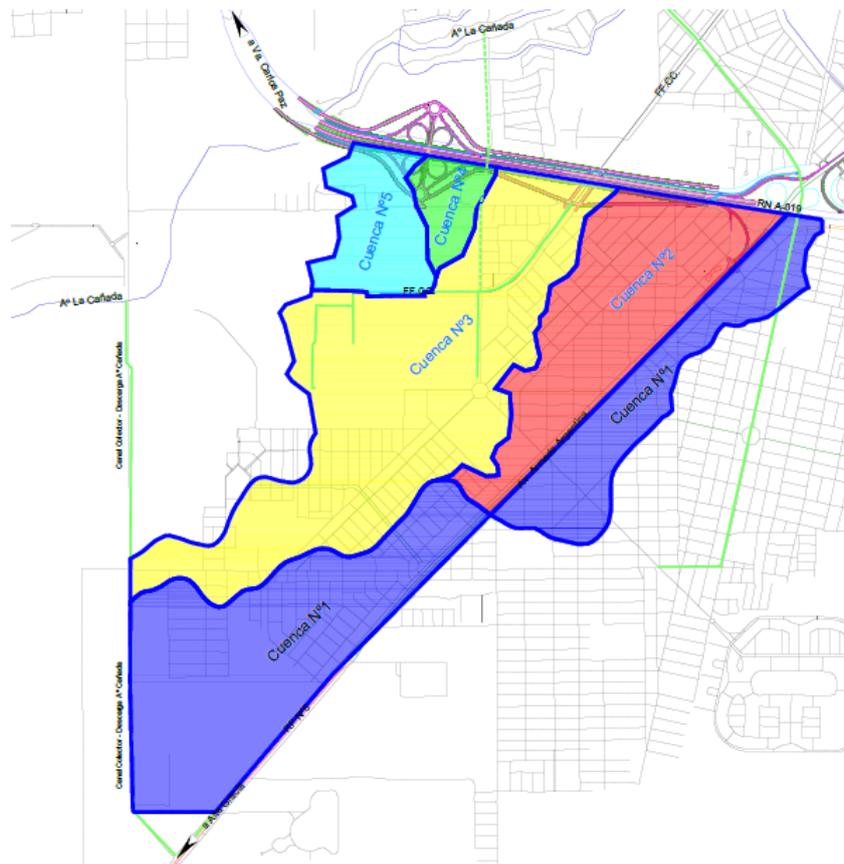


Ilustración 42. Cuencas reales

7.2.2 Descripción de las cuencas

Cuenca N°1

La cuenca N°1 aporta al sistema de desagües pluviales de la Av. Armada Argentina, con el aporte parcial de dos cuencas naturales. El sistema de desagüe se compone de canales a ambos lados de la citada arteria, en parte entubados, con sumideros para la captación superficial de los excedentes, descargando en el cuadrante SO del Intercambiador RP N°5, para luego ser conducido a través de las obras de arte del enlace, y de manera superficial hacia el cuadrante NO donde finalmente es captado en el sistema denominado “Canal Anizacate” que descarga en el Arroyo La Cañada.

La cuenca se encuentra mayoritariamente Urbanizada, mientras que el resto se encuentra en proceso de urbanización.

Cuenca N°2

La cuenca N°2 aporta principalmente a los escurrimientos superficiales de la Av. Curazao, entre los Barrios Congreso y Santa Isabel 1ª, descargando finalmente entre el cruce ferroviario y el intercambiador RP N°5, a través de sumideros y las obras de arte asociadas bajo las colectoras de la A-019.

Esta cuenca se encuentra totalmente urbanizada.

Cuenca N°3

Dentro de la cuenca N°3 se encuentra la planta Industrial Renault, que con sus sistemas de drenaje interno y conducciones pluviales, descarga sus excedentes mayoritariamente frente a la Usina Bazán de la EPEC.

Esta cuenca, se encuentra completamente urbanizada, con importantes áreas totalmente impermeabilizadas.

Una pequeña parte de la cuenca, de unas 55 ha, no es captada por el sistema de drenaje de la planta Renault, y se conduce, a través de las obras de arte paralelas al ramal del ferrocarril, dirigiéndose a la traza del canal Anizacate.

Cuenca N°4

La cuenca N°4 se presenta parcialmente urbanizada, descarga sus excedentes a través de las obras de arte en el actual retorno frente a la Usina Bazán.

Cuenca N°5

La cuenca N°5, en proceso de urbanización mixto (industrial/residencial), descarga sus excedentes en el extremo oeste del actual retorno frente a la usina Bazán.

7.2.3 Parámetros físicos

En la siguiente tabla se resumen los parámetros físicos de las cuencas:

Cuenca	Área [ha]	Longitud Cauce [km]	Diferencia Altimétrica [m]	Pendiente [%]
1	225	4,54	34	0,75
2	111	2,15	17	0,79
3	222	3,65	28	0,77
4	19	0,60	6	1,00
5	40	0,72	8	1,11

Tabla 14. Parámetros físicos de las cuencas

7.2.4 Parámetros hidráulicos – Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca hidrográfica es el tiempo que se necesita para que el caudal saliente se estabilice, cuando ocurra una precipitación con intensidad constante sobre toda la superficie de la misma.

Considerando la naturaleza de las cuencas estudiadas y teniendo en cuenta los hechos antrópicos que encauzan las líneas de escurrimiento naturales se adoptó la fórmula de Kirpich para el cálculo del tiempo de concentración:

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración [min]

L = longitud del cauce principal [m]

S = pendiente del cauce [m/m]

Los tiempos de concentración así obtenidos se resumen a continuación:

Cuenca	L [m]	S [m/m]	T _c [min]
1	4.540	0,0075	84
2	2.150	0,0079	46
3	3.650	0,0077	70
4	600	0,0100	16
5	720	0,0111	17

Tabla 15. Tiempos de concentración

7.2.5 Parámetros hidrológicos

Dada la geología y el uso del suelo (actual y futuro) de las cuencas, se adoptan los siguientes parámetros hidrológicos:

- Coeficiente C – Método Racional: 0,40
- CN – Método SCS: 83

El coeficiente C adoptado para el cálculo de caudales mediante el método racional, responde a una cuenca con uso de suelo urbano.

El Número de curva (CN) adoptado para el método SCS, es de 83, que corresponde a una urbanización con un factor de ocupación del suelo del 50% para suelo tipo B – loess en el 80% de la superficie de cuenca con un CN =79 y un 20% de la cuenca ocupada por calles pavimentadas con un CN = 98.

7.2.6 Precipitación – Curvas IDF

Las principales características de la lluvia que se deben definir en el proceso de cálculo de los caudales, para el caso específico de las obras que nos ocupan, son:

- **Duración:** es el tiempo que tarda en precipitarse la tormenta sobre la superficie terrestre de la cuenca en estudio (en min/hs). En general se adopta una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, a los fines de suponer que al punto de control esté aportando la totalidad del área de la misma.
- **Intensidad de la tormenta:** es la cantidad de agua que cae en un determinado lapso de tiempo (en mm/min o mm/h). Es función de las características climáticas de la cuenca. Su determinación, generalmente, se hace con el apoyo

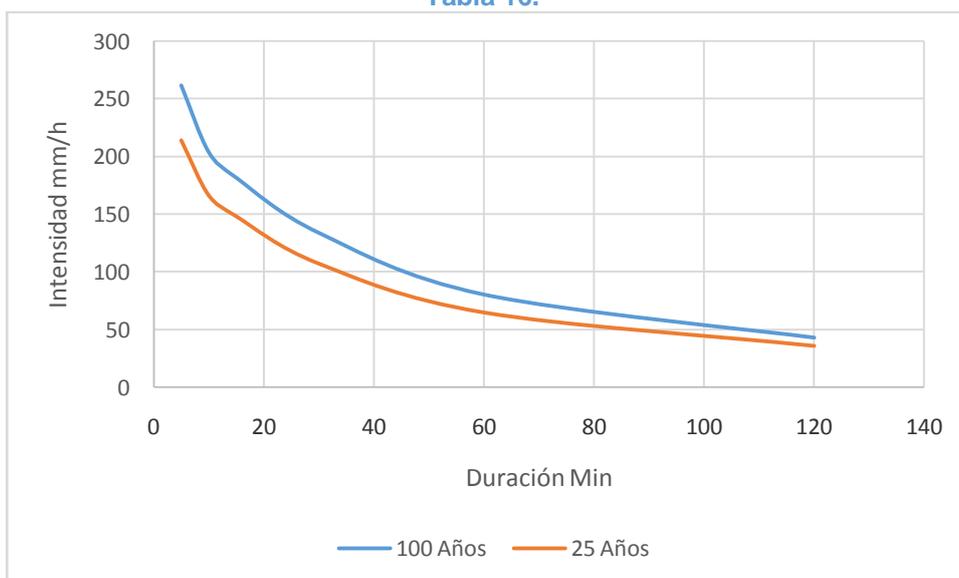
de las curvas I-D-F (Intensidad-Duración-Frecuencia) correspondientes a la zona geográfica de la cuenca.

- **Distribución temporal:** es como se reparte en el tiempo que dura la tormenta analizada, la lámina de lluvia caída. Se puede adoptar que se uniforme o que posea un patrón específico.
- **Distribución espacial:** debido a que el dato dado por una estación pluviográfica o pluviométrica es puntual, se requiere de algún método para poder transformar las lluvias puntuales en valores de precipitación representativos del área (cuenca).
- **Período de retorno:** es el máximo lapso de tiempo que transcurre entre dos eventos que igualan o sobrepasan un valor dado. El concepto a aplicar consiste en proyectar las obras de modo tal que fácilmente sea eliminada el agua de las lluvias frecuentes y que para las grandes crecientes, de poca frecuencia o eventos extraordinarios, no se ocasione daño grave al camino, ni a las propiedades adyacentes, ni a los usuarios de la vía por la insuficiencia de las obras de arte.

Para la estimación de la *intensidad* de precipitación, se recurre a las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia elaboradas por el Instituto Nacional del Agua para la Ciudad de Córdoba; y considerando que la Ruta Nacional A-019 es una vía de Categoría Especial, se adoptan 25 y 100 años como los *tiempos de recurrencia* para el cálculo y verificación de las obras de drenaje correspondiente.

T	Intensidades medias máximas [mm/h] estimadas para distintas duraciones [min]									
[años]	5'	10'	15'	30'	60'	120'	180'	360'	720'	1440'
2	116.48	89.66	79.29	54.25	33.22	19.97	14.47	8.44	4.9	2.73
5	155.88	120.49	106.92	75.09	45.67	26.33	19.08	10.82	6.24	3.49
10	181.87	140.89	125.25	98.2	54.04	30.48	22.09	12.34	7.1	3.98
25	214.26	166.38	148.2	107.1	64.64	35.61	25.8	14.19	8.14	4.57
50	238.04	185.12	165.1	120.45	72.51	39.36	28.51	15.52	8.89	5
100	261.51	203.65	181.52	133.78	80.35	43.03	31.17	16.82	9.62	5.41
200	284.84	222.1	198.49	147.17	88.21	46.67	33.8	18.09	10.33	5.82

Tabla 16.



7.2.7 Cálculo del Caudal Pico

El caudal pico para la lluvia de diseño y verificación se calculó mediante el método racional y el método SCS.

Estos métodos sirven para transformar la información de la lluvia de diseño en un caudal de escurrimiento, a través de un modelo que simplifica el sistema para simular conceptualmente sus partes.

Método Racional: es el método más antiguo que existe para estimar descargas máximas y es deductivo. Sus principios son:

- El caudal pico ocurre cuando toda la superficie de aporte contribuye al escurrimiento registrado a la salida de la cuenca;
- La lluvia presenta uniformidad espacial y temporal, siendo su duración igual al tiempo de concentración de la cuenca;
- Las condiciones de permeabilidad de la cuenca se mantienen constantes durante la lluvia.

Algunas de sus limitaciones son:

- Solo permite estimar el caudal máximo;
- No contempla el flujo canalizado, considera solamente el flujo sobre el terreno;
- Si la cuenca es compleja, con varias sub-cuencas, tiende a sobrestimar el caudal máximo;
- Se recomienda sólo para cuencas menores de 81 Ha.

Su fórmula es:

$$Q = C \times i \times A$$

Donde:

Q: caudal máximo

C: relación del caudal que fluye sobre el terreno, al caudal llovido; coeficiente de escurrimiento (tabulado)

i: intensidad de la lluvia

A: área (hectáreas drenadas)

Método SCS: también conocido como Método del Número de Curva de Escorrentía, es un método empírico elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (1985). Calcula la escorrentía producida por una determinada precipitación en función del parámetro “número de curva”, que a su vez depende de las condiciones de infiltración de la zona en que se produce la tormenta.

El “número curva” representa una relación empírica entre la precipitación y la escorrentía generada por esa precipitación. Es un parámetro adimensional, cuyos valores oscilan entre 1 (capacidad de retención máxima en la cuenca, Q=0) y 100 (capacidad de retención nula, Q=Precipitación); y depende de: tipo de suelo, tipo de cubierta vegetal y uso del suelo, tratamiento del suelo y estado de humedad precedente.

El método propone la siguiente expresión:

$$\frac{Q}{P} = \frac{P - Q}{S}$$

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

Q: caudal producido en mm

P: precipitación en mm

S: capacidad máxima de retención de agua en mm

CN: número de curva de escorrentía

Los resultados de la aplicación de ambos métodos se transcriben a continuación, resaltando los valores adoptados, con tiempos de duración de lluvia iguales al tiempo de concentración:

Cuenca	Método Racional		Método SCS	
	Q25 [m³/s]	Q100 [m³/s]	Q25 [m³/s]	Q100 [m³/s]
1	12,0	15,9	11,7	18,8
2	9,2	12,1	7,0	11,8
3	13,6	17,9	12,4	20,1
4	2,9	3,8	1,2	2,2
5	5,9	7,7	2,5	4,5

Tabla 17. Caudales pico

7.3 OBRAS DE ARTE – DIMENSIONADO DE CUNETAS

La cuneta debe tener la capacidad suficiente para transportar el caudal de diseño, más una determinada revancha. El tratamiento de su diseño es diferente si la cuneta debe ser excavada en suelo o en roca.

Cuando la cuneta es excavada en suelo la forma más común es la trapecial, como en este caso. Y para determinar su sección se realiza sobre la base de ecuaciones de continuidad y la velocidad de flujo, la cual puede ser calculada con la ecuación de Manning:

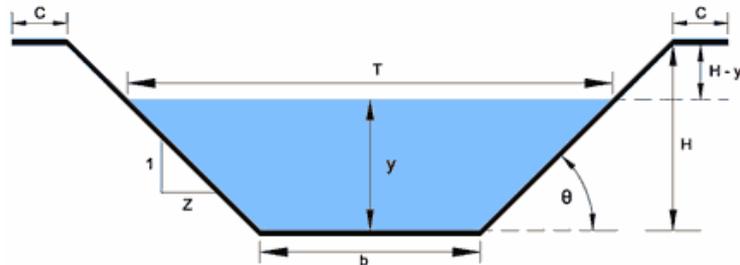


Ilustración 43. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapecial

$$\text{Ecuación de continuidad: } Q = V \times A$$

$$\text{Ecuación de Manning: } V = \frac{R^{2/3} \times i^{1/2}}{\eta}$$

Donde:

Q: caudal

V: velocidad media de flujo

A: superficie de la sección transversal del canal

R: radio hidráulico (área/perímetro mojado)

i: pendiente longitudinal del fondo del canal (cuneta)

η: coeficiente de Manning (depende del tipo de superficie)

b: ancho de fondo

y: tirante del agua

H: altura del canal

1:z: pendiente del talud

Proponiendo una sección se verifica para el caudal de diseño Q25 y para el caudal de verificación Q100.

Cunetas Externas

Tramo	Prg 24+500 a 25+500	Prg 25+900 a 26+900
Pendiente Mínima	0,22 %	0,71 %
Cuencas Aportantes	N°2 – N°3 (1/4)	N°3 (3/4) – N°4 – N°5
Caudal de Diseño Q25	12,60 m ³ /s	19,00 m ³ /s
Caudal de Verificación Q100	17,10 m ³ /s	26,60 m ³ /s
Sección Proyectada – Canal Trapecial		
Ancho de fondo	5,00 m	5,00 m
Altura	1,00 m	1,00 m
Talud	2:1 (H:V)	2:1 (H:V)
Revestimiento	Hormigón simple	
Verificación Hidráulica		
Tirante para Q25	0,80 m	0,72 m
Tirante para Q100	0,94 m	0,87 m
Caudal Tirante Máximo	19,20 m ³ /s	34,50 m ³ /s

Tabla 18. Características y Verificación de Cunetas Externas

Cunetas Internas

Tramo	Prg 24+500 a 25+500	Prg 25+900 a 26+900
Pendiente Mínima	0,31 %	0,36 %
Cuencas Aportantes	propia	propia
Caudal de Diseño Q25	1,50 m ³ /s	1,50 m ³ /s
Caudal de Verificación Q100	2,00 m ³ /s	2,00 m ³ /s
Sección Proyectada – Canal Trapecial		
Ancho de fondo	1,00 m	1,00 m
Altura	1,00 m	1,00 m
Talud	2:1 (H:V)	2:1 (H:V)
Revestimiento	Hormigón simple	
Verificación Hidráulica		
Tirante para Q25	0,46 m	0,44 m
Tirante para Q100	0,52 m	0,51 m
Caudal Tirante Máximo	7,90 m ³ /s	8,60 m ³ /s

Tabla 19. Características y Verificación de Cunetas Internas

7.4 OBRAS DE ARTE – DIMENSIONADO DE ALCANTARILLAS

Las alcantarillas son conductos cerrados que permiten pasar la corriente de agua de un lado a otro del camino. Estos conductos continúan el cauce, en donde la corriente encuentra una barrera artificial, como es el terraplén de un camino, de una vía férrea u otra infraestructura.

La alcantarilla generalmente reduce el cauce de la corriente de agua, ocasionando su embalse a la entrada, lo que genera un aumento de la carga hidráulica, generando un aumento de velocidad dentro del conducto y a la salida.

Este represamiento a la entrada y aumento de velocidad, deben ser tenidos en cuenta en el diseño, tanto de la rasante del camino como de la propia obra de drenaje, ya que son muy perjudiciales.

Un buen diseño hidráulico se basa en proveer una obra con capacidad de descargar económicamente una cierta cantidad de agua (Caudal de diseño Q) dentro de límites establecidos de altura del nivel del agua a la entrada de la alcantarilla (H_{adm}^e) y velocidad a la salida y dentro de la alcantarilla (V_{adm}).

El diseño de una alcantarilla es un proceso que abarca no solamente el diseño hidráulico del conducto, sino que se refiere a las condiciones de su ubicación (en planta y en alzado); tipo y forma del conducto; materiales que conforman su estructura; tipo de fundación; los posibles daños que pueda ocasionar la erosión; al análisis integral de la obra, desde los puntos de vista de la seguridad, la estética vial, la justificación económica del diseño que se haya propuesto, el impacto ambiental y la vulnerabilidad de la obra.

Se diseñaron las alcantarillas necesarias para el tramo 1-A (entre Prg. 24+500 y 26+950), partiendo del cálculo de los caudales para las áreas de influencia de las mismas. Las alcantarillas se diseñaron para un tiempo de retorno de 25 años y se las verifico para 100 años.

Para las alcantarillas ubicadas sobre la cuneta interna, los caudales de diseño y verificación de las cuencas propias son:

Cuenca	Método Racional	
	Q25 [m ³ /s]	Q100 [m ³ /s]
CR1	1,5	2,0

Tabla 20. Caudales de diseño y verificación para cuencas propias

Para la realización del cálculo hidráulico se utilizó el software HY-8, que automatiza los cálculos hidráulicos de las alcantarillas, utilizando una serie de datos característicos esenciales que facilitan el análisis y el diseño de las mismas.

Básicamente, el procedimiento se resume en proponer una sección, longitud, pendiente y caudal, y verificar que no se descargue caudal sobre la calzada y que la elevación del pelo del agua no llegue a la altura de la rasante.

Los resultados, así como las características de cada alcantarilla, se detallan a continuación:

Alcantarilla A1		Cantidad de bocas	3
Progresivas	24+600 – 24+800	Luz de c/boca (m)	4
Caudal de Diseño (m ³ /s)	12,6	Largo (m)	1
Longitud (m)	73	Pendiente (%)	0,2
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
100.62	12.00	12.00	0.00
100.63	12.10	12.10	0.00
100.63	12.20	12.20	0.00
100.63	12.30	12.30	0.00
100.64	12.40	12.40	0.00
100.64	12.50	12.50	0.00
100.65	12.60	12.60	0.00
100.65	12.70	12.70	0.00
100.65	12.80	12.80	0.00
100.66	12.90	12.90	0.00
100.66	13.00	13.00	0.00
101.80	58.89	58.89	0.00

Alcantarilla A2		Cantidad de bocas	1
Progresivas	25+200 – 25+600	Luz de c/boca (m)	1
Caudal de Diseño (m ³ /s)	1,5	Largo (m)	1
Longitud (m)	89	Pendiente (%)	0,2
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
100.85	1.00	1.00	0.00
100.91	1.10	1.10	0.00
100.97	1.20	1.20	0.00
101.03	1.30	1.30	0.00
101.08	1.40	1.40	0.00
101.13	1.50	1.50	0.00
101.18	1.60	1.60	0.00
101.25	1.70	1.70	0.00
101.34	1.80	1.80	0.00
101.44	1.90	1.90	0.00
101.54	2.00	2.00	0.00
101.80	2.26	2.26	0.00

Alcantarilla A3		Cantidad de bocas	3
Progresivas	25+200 – 25+600	Luz de c/boca (m)	4
Caudal de Diseño (m ³ /s)	12,6	Largo (m)	1
Longitud (m)	84	Pendiente (%)	0,2
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
100.83	12.00	12.00	0.00
100.84	12.10	12.10	0.00
100.84	12.20	12.20	0.00
100.85	12.30	12.30	0.00
100.85	12.40	12.40	0.00
100.86	12.50	12.50	0.00
100.86	12.60	12.60	0.00
100.87	12.70	12.70	0.00
100.87	12.80	12.80	0.00
100.88	12.90	12.90	0.00
100.88	13.00	13.00	0.00
101.80	27.34	27.34	0.00

Alcantarilla A4		Cantidad de bocas	1
Progresivas	26+000 – 26+200	Luz de c/boca (m)	1
Caudal de Diseño (m ³ /s)	1,5	Largo (m)	1
Longitud (m)	55	Pendiente (%)	0,5
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
100.84	1.00	1.00	0.00
100.89	1.10	1.10	0.00
100.95	1.20	1.20	0.00
101.00	1.30	1.30	0.00
101.05	1.40	1.40	0.00
101.10	1.50	1.50	0.00
101.15	1.60	1.60	0.00
101.19	1.70	1.70	0.00
101.24	1.80	1.80	0.00
101.31	1.90	1.90	0.00
101.39	2.00	2.00	0.00
101.80	2.48	2.48	0.00

Alcantarilla A5		Cantidad de bocas	3
Progresivas	26+000 – 26+200	Luz de c/boca (m)	4
Caudal de Diseño (m ³ /s)	19,0	Largo (m)	1
Longitud (m)	36	Pendiente (%)	0,7
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
101.05	18.00	18.00	0.00
101.06	18.20	18.20	0.00
101.07	18.40	18.40	0.00
101.07	18.60	18.60	0.00
101.08	18.80	18.80	0.00
101.09	19.00	19.00	0.00
101.10	19.20	19.20	0.00
101.11	19.40	19.40	0.00
101.11	19.60	19.60	0.00
101.12	19.80	19.80	0.00
101.13	20.00	20.00	0.00
101.80	33.37	33.37	0.00

Alcantarilla A6		Cantidad de bocas	1
Progresivas	26+400 – 26+800	Luz de c/boca (m)	1
Caudal de Diseño (m ³ /s)	1,5	Largo (m)	1
Longitud (m)	36	Pendiente (%)	0,5
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
100.83	1.00	1.00	0.00
100.88	1.10	1.10	0.00
100.93	1.20	1.20	0.00
100.98	1.30	1.30	0.00
101.03	1.40	1.40	0.00
101.08	1.50	1.50	0.00
101.13	1.60	1.60	0.00
101.18	1.70	1.70	0.00
101.22	1.80	1.80	0.00
101.27	1.90	1.90	0.00
101.33	2.00	2.00	0.00
101.80	2.65	2.65	0.00

Cierre de Avenida de Circunvalación
Distribuidor RP N°5 – Distribuidor “El Tropezón” – Tramo 1A

Alcantarilla A7		Cantidad de bocas	3
Progresivas	26+400 – 26+800	Luz de c/boca (m)	4
Caudal de diseño (m ³ /s)	19,0	Largo (m)	1
Longitud (m)	41	Pendiente (%)	0,7
Elevación del pelo de Agua (m)	Caudal Total Descargado (m ³ /s)	Caudal Descargado por Alcantarilla (m ³ /s)	Caudal Descargado sobre Calzada (m ³ /s)
101.05	18.00	18.00	0.00
101.06	18.20	18.20	0.00
101.07	18.40	18.40	0.00
101.07	18.60	18.60	0.00
101.08	18.80	18.80	0.00
101.09	19.00	19.00	0.00
101.10	19.20	19.20	0.00
101.11	19.40	19.40	0.00
101.11	19.60	19.60	0.00
101.12	19.80	19.80	0.00
101.13	20.00	20.00	0.00
101.80	33.37	33.37	0.00

8 CONCLUSIONES

Para la finalización de este proceso previo a la inserción laboral como profesional y de este informe, se pudo llegar a dos tipos de conclusiones, las que surgen del proyecto planteado, y las personales como resultado de las actividades desarrolladas.

Con respecto a las conclusiones sobre el proyecto, para comenzar, se destaca la importancia de terminar las obras públicas en un lapso de tiempo corto desde el momento en que se proyectan.

En este caso, al haber pasado más de 40 años desde que comenzó la construcción de la Avenida de Circunvalación, la Ciudad de Córdoba, “usuario” de la misma, fue creciendo y cambiando al igual que las normativas de diseño vial. Esta situación complica el trabajo de unificar los tramos existentes con los nuevos, y agrega nuevos condicionantes que en el proyecto inicial no existían.

Estos condicionantes tienen que ver con las nuevas necesidades impuestas por el crecimiento de la ciudad. Las conexiones que deben asegurarse para brindar conectividad a toda la población, desde la que reside en el centro de la ciudad hasta la que se fue asentando más allá del límite que había establecido la Circunvalación, además de asegurar la accesibilidad al tránsito pesado que debe entrar a la ciudad y luego salir, o evitar la misma, tal cual era la idea original del proyecto.

Sin embargo, actualmente, debido a su funcionamiento como autopista urbana se podría plantear el diseño de un nuevo anillo de circunvalación.

Otro aspecto importante que contempla este tipo de proyectos es el de elaborar un buen diseño de sistema de drenaje que permita el buen funcionamiento de la vía sin tener problemas de inundaciones sobre ella, o en sus alrededores. No debe olvidarse que el proceso de urbanización impermeabiliza el suelo y modifica las cuencas hidrológicas naturales.

Con respecto a la experiencia personal en el desarrollo de las actividades se puede decir que la asignatura es necesaria y muy útil para el traspaso de estudiante a profesional, así como para reforzar y aplicar los conceptos vistos a lo largo de la carrera, no solo en las materias referidas al diseño vial, que fue el aspecto principal de este trabajo.

Para concluir, insertarse en un equipo de trabajo y en un ambiente tan cómodo como el que se da en la empresa Vanoli y Asociados resultó bastante gratificante y enriquecedor en cuanto al aprendizaje de manejo de software que en la facultad no se vio o utilizó tanto. Además de ver en forma más detallada algunos temas de las normas de la Dirección Nacional de Vialidad requeridas, tener en cuenta las fechas de entrega, y los requisitos necesarios respecto a documentos para este tipo de proyectos y entidades a quienes se presentan.

9 BIBLIOGRAFÍA

9.1 Referencias bibliográficas

- Manual de Diseño Geométrico Vial – Tomo I y II, 1ª edición – María G. Berardo, Alejandro G. Baruzzi, Oscar M. Dapás, Rodolfo G. Freire, Mauro I. Tartabini, Gustavo D. Vanoli.
- Apuntes de la materia Hidrología y Procesos Hidráulicos
- Manual de Señalamiento Horizontal, Dirección Nacional de Vialidad – 1ª edición – Asociación Argentina de Carreteras.

9.2 Páginas web

- [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_C%C3%B3rdoba_\(Argentina\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_C%C3%B3rdoba_(Argentina))
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Ruta_Nacional_A019_\(Argentina\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ruta_Nacional_A019_(Argentina))
- <http://www.lavoz.com.ar/usuarios/cambia-sobre-la-marcha-el-cierre-de-la-circunvalacion>
- <http://www.lavoz.com.ar/usuarios/el-mal-ejemplo-de-la-avenida-de-circunvalacion>
- http://premega.blogspot.com.ar/2013/04/topografia-con-gps-en-tiempo-real-rtk_24.html

10 ANEXOS