

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

El secretario de obras públicas del gobierno regional de Yacuiba, Franz Felipe Ajata, informó que la empresa estratégica boliviana de Construcción (EBC), responsable de ejecutar la doble vía Yacuiba-Villa Montes, inició levantamiento topográfico y ajuste de reingeniería de todas las obras de arte. (El Pais, 2019).

En la tesis titulada “Creación de aplicativos con la plataforma Civil 3D, para el diseño geométrico de vías de cuarta generación” sustentada para obtener el grado de ingeniero civil de la universidad Santo Tomás. Tuvo por objetivo la regionalización del programa Civil 3D para la realización de diseños geométricos de vías de cuarta generación de acuerdo a la normatividad vigente.

Los programas que hoy en día existen, en sus distintas variedades son utilizados como herramientas para el diseño de vías, los cuales son generados de acuerdo a la normatividad y características topográficas de las zonas en donde se desarrollan. Las herramientas informáticas que hoy en día existen para la generación de diseños de infraestructura vial, fueron desarrolladas tomando como base la normatividad generada por AASHTO 2004 y el AutoCAD Civil 3D no es la excepción, por ello es necesario personalizar la herramienta a nuestras condiciones y en especial al tipo de infraestructura vial que el país requiere.

Asimismo, el autor concluye diciendo que el programa Civil 3D permite personalizar los procesos de diseño geométrico y regionalizar cada uno de los parámetros de diseño geométrico de vías. (Cruz Vladimir Henry Cruz, 2014).

La tesis “Análisis del diseño geométrico de carreteras con el software civil 3D aplicado la norma DG 2013” se basa en la creación de plantillas para obras civiles, topográficas y viales, la elaboración de estos archivos con extensión dwt y xml, creados bajo la normatividad peruana, formando parte de una herramienta que sirve para mejorar el diseño geométrico de carreteras, con el software AutoCAD Civil 3D (Versión estudiante). Por ello tuvo como objetivo proponer el diseño geométrico de carreteras realizado con plantillas en el software AutoCAD Civil 3D, aplicando las normas peruanas DG 2013, de la carretera km 18 Cojatachali – Cupe, del Distrito de Paucarcolla.

Concluye diciendo que la creación de las plantillas nos permite un alto nivel de productividad, ahorro de tiempo, dinero, y nos permite optimizar nuestro diseño geométrico de carreteras; las plantillas en formato dwg, nos facilitará la configuración de estilos para los planos de carreteras como son; en planta, perfil longitudinal y sección transversal incrementando la productividad de diseño geométrico de carreteras según Norma Peruana vigentes. Como podemos observar el automatizar ciertas herramientas que nos permiten realizar el diseño de carreteras, facilita a los usuarios el ahorro de tiempo y dinero. (Edy Apaza Calisaya, 2015)

La tesis titulada “Influencia de autolips y plantillas-dwt en el diseño geométrico de carreteras asistido con AutoCAD Civil 3D” en sus conclusiones establece que la implementación de las plantillas dwt si influye positivamente en las expresiones gráficas del diseño geométrico de carreteras en AutoCAD Civil 3D debido a que acorta el tiempo en el proceso de dibujo, así mismo se logra obtener un dibujo con una mejor disposición de espacio por las facilidades brindadas al diseñador. (Katherine Katiuska Condoi Castro, 2019)

El diseño geométrico de carreteras es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad, de la vía. (ABC, 2008).

Se entiende por diseño geométrico de carreteras al trazo realizado por un ingeniero civil en cualquier software de ingeniería especializado en el diseño de carreteras (AutoCAD Civil 3D), para luego poder plasmarlo al terreno, este diseño debe cumplir con las normativas vigentes y parámetros de diseño establecidos por la entidad reguladora de cada país, en este caso la administradora boliviana de carreteras (ABC).

En vista que todos los programas disponibles en el mercado para el diseño geométrico de carreteras cuentan como norma base la AASHTO.2004, por lo tanto, es necesario adaptar, personalizar o cargar al programa la normativa para el diseño geométrico de carreteras vigente en nuestro país. Debido a esto se busca o pretende regionalizar el programa con la normativa vigente en el país para el diseño geométrico óptimo de los proyectos viales.

Cabe mencionar que se va generar un archivo con extensión xml y plantillas dwt el cual contendrá los parámetros de diseño geométrico según el manual de diseño geométrico de carreteras de la administradora boliviana de carreteras de, que se podrá cargar al programa para futuros diseños.

Desde ningún punto de vista este proyecto pretende sustituir el buen criterio del ingeniero al momento de elaborar el diseño geométrico de carreteras.

En la actualidad es muy importante saber manejar las herramientas informáticas disponibles que nos facilitan el trabajo y nos ahorre tiempo y así siendo más productivos, este trabajo es de gran ayuda a los profesionales, estudiantes y docentes que tengan conocimiento del programa y su uso, ya que podrán cargar la normativa de diseño geométrico de carreteras de la ABC-2008 facilitando de alguna manera a la hora del diseño de la vía. Y también podrán realizar revisión de los parámetros de diseños en vías ya existentes o ya diseñadas.

1.2 Situación problemática

En la provincia Gran Chaco, el gobierno de municipal de Yacuiba viene ejecutando varias obras de apertura, mejoramiento y asfaltado de varias vías camineras que permiten la integración de la provincia. Las comunidades de Yacuiba y Campo Pajoso se integran a través de una carretera que es utilizado por los usuarios para trasladar sus productos y comercializarlos en la ciudad de Yacuiba, siendo que la vía pertenece a la red fundamental de carreteras y ruta hacia la frontera con la república de la Argentina.

Los diferentes programas (software) o herramientas informáticas que se pueden encontrar en el mercado para el diseño de geométrico vías, cuenta con norma base la AASHTO 2004. De la misma forma lo hace AutoCAD Civil 3D, siendo importante y necesario la personalización de dichos programas con las normativas vigentes de cada país o región.

El programa AutoCAD Civil 3D es uno de los más usado y conocidos en el medio, de fácil adquisición y su enorme compatibilidad con otros programas a diferencia de otro software. Es de vital importancia contar que el programa este personalizado con la normativa vigente para el diseño de las carreteras, ya que todas las carreteras deben estar con normativa reglamentaria y no es la excepción del tramo de Yacuiba Campo Pajoso,

siendo que el tramo es parte de la red fundamental de carreteras del país que debe cumplir con la normativa de la ABC.

En vista que el programa no está adecuado a la normativa del país, hace que los usuarios del mismo demoren más tiempo al realizar un diseño geométrico de carreteras en dicho programa, lo cual afecta directamente a las empresas, ingenieros, entidades del sector público entre otros dedicadas al diseño geométrico de carreteras en el programa de AutoCAD Civil 3D, ya que se invierte más tiempo del necesario a la hora del realizar los diseños.

1.2.1 Problema

¿La personalización del software AutoCAD Civil 3D de qué manera, afectaría en el diseño geométrico del tramo de la doble vía Campo Pajoso Yacuiba?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

El presente trabajo ayudará a todos los especialistas encargados del diseño geométrico de carreteras y todo aquel que quiera entrar al campo o especializarse para realizar el proceso de manera correcta y óptima.

Con esto se logra ahorrar el tiempo y mejorar los tiempos de los especialistas en el diseño geométrico de carreteras, obteniendo mejores resultados en la presentación de los planos a entregar.

El programa AutoCAD Civil 3D tiene su página oficial la opción a la descarga de la normativa de diseño geométrico de diferentes países, en dicha página no está disponible para Bolivia.

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/troubleshooting/caas/downloads/downloads/ESP/content/civil-3d-country-kits.html>

Ilustración 1: Normas disponibles en la web de AutoCAD



Fuente: Página web de Autodesk.

Con este trabajo se llenará los vacíos que se presentan en diversas guías, manuales, tutoriales y cursos que están disponibles en la web en el diseño asistido por computadora. Para el diseño geométrico del tramo Yacuiba Campo Pajoso se cuenta con la topografía realizada por la empresa boliviana de construcción encargada del tramo. En cuanto al software, se cuenta con licencia oficial de Autodesk en versión de estudiante disponible por un año sin restricción, ni limitación, pudiendo ser renovada.

Ilustración 2: Licencia del software



Fuente: Página web de Autodesk.

En cuanto al hardware se dispone de una computadora portátil con las siguientes características:

- Marca: MSI.
- Modelo: GE 75 Raider 9 SE.
- Procesador: Intel Core i7 9750H – 2.6 GHz.
- Tarjeta de video: GeForce RTX 2060
- Memoria RAM: 16 GB
- Sistema Operativo: Windows 10 Home

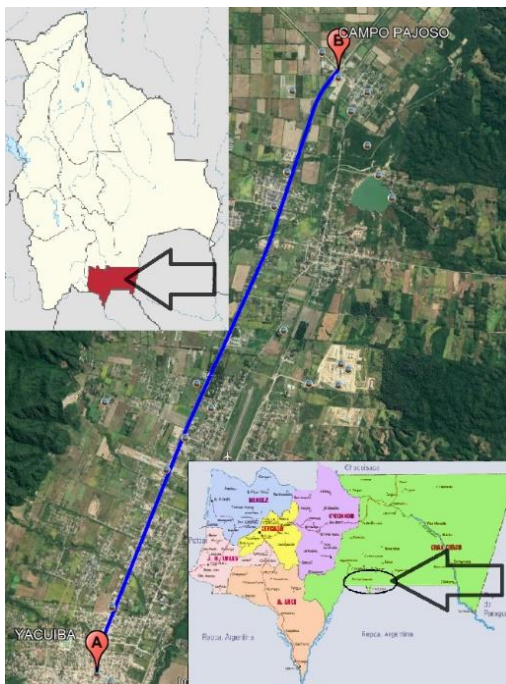
Cumpliendo con las características mínimas recomendadas por el fabricante del software para un rendimiento deseado.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

Espacial

El presente trabajo se realizó en el departamento de Tarija, provincia Gran Chaco, Primera Sección en el municipio de Yacuiba. Sobre la ruta N°9 entre Yacuiba y Campo Pajoso.

Ilustración 3: Delimitación del proyecto



Fuente: Página web Pinterest y Google Earth.

Temporal

El trabajo se desarrolló en un tiempo de 4 meses, del presente año, en el departamento de Tarija en la provincia cercado.

En la actualidad existe una carencia de un adecuado uso del programa, de rutinas automatizadas y plantillas para el diseño geométrico de carreteras, aunque en la web se presenta muchos de cursos de manejo de programa enfocado en el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC, la información brindada es escasa.

1.3 Justificación del proyecto.

En la actualidad se busca planear, diseñar y construir carreteras que cumplan con la normativa vigente del país, que sean seguras y cómoda. Por lo que se debe contar con los ingenieros capacitados en la generación de soluciones factibles, técnicas y económicas, que sean capaces de usar las herramientas informáticas actuales disponibles de forma eficiente y óptima para generar soluciones.

El desarrollo de las comunidades y ciudades depende de sus medios de transporte, la falta de los caminos y carreteras es uno de los obstáculos para lograr el desarrollo económico y social y la integración. Por lo que es necesario contar carreteras que cumplan la normativa vigente del país.

El tramo Yacuiba - Campo Pajoso es de vital importancia, siendo que esta es parte de la red fundamental de carreteras del país la ruta N°9 y el alto tránsito de vehículos que se mueve por la zona hace necesario la implementación, mejoras de las vías ya existentes y la construcción de otras para satisfacer las necesidades que la vía tiene.

El conocimiento de las herramientas informáticas que ayudan al diseño asistido por computadora es de vital importancia, un correcto uso de las herramientas facilita el diseño y optimiza el tiempo de elaboración de los diseños geométricos de vías de nuestro país.

Contar con un software con la normativa boliviana de la ABC para el diseño geométrico de carreteras facilitará el trabajo de los que lo requieran.

1.4 Objetivos del proyecto.

1.4.1 Objetivo general.

Realizar el diseño geométrico del tramo doble vía Yacuiba-Campo Pajoso en el programa civil 3D con la normativa de la ABC.

1.4.2 Objetivo específico.

- Generar una plantilla para el diseño geométrico de carreteras con la normativa boliviana según el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC.
- Realizar los archivos de la norma de la ABC dentro del programa civil 3D para el diseño geométrico de carreteras en formato Xml.
- Elaborar un formato de presentación de planos para el diseño geométrico de carreteras con la información necesaria.
- Brindar material de aprendizaje del software civil 3D orientado al diseño de carreteras.
- Efectuar una comparación de los parámetros más importantes de diseño geométrico de la normativa AASTHO – 2011 con de la ABC.

1.5 Hipótesis

La personalización de AutoCAD Civil 3D con plantillas de diseño geométrico de carreteras y los archivos de la normativa según el manual de diseño de la administradora boliviana de carreteras ABC, beneficiará al diseño asistido por computadora reduciendo los tiempos empleados en el proceso de diseño del tramo doble vía Yacuiba-Campo Pajoso.

1.6 Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Ítem	Indicador
X: normativa de diseño según la ABC y plantilla dwt	Normativa de diseño	Diseño geométrico de carreteras	Tiempo (reducción de horas para revisar el diseño)
	Plantilla dwt	Diseño geométrico de carreteras	Tiempo (reducción de horas en el procesamiento)
Y: diseño geométrico de carreteras	Cálculo de diseño geométrico	Cuadro de los elementos de la curva horizontales	Información suficiente o insuficiente
		Curvas verticales	
		Cuantificación del movimiento de tierras	
	Representación gráfica de los planos	Plano en planta	Bueno, regular, o malo
		Plano en perfil	
		Secciones transversales	

Fuente: Elaboración Propia.

1.6.1 Variable independiente

Archivos de normativas y plantillas DWT personalizadas: los archivos de normativa para el diseño geométrica de carreteras es un conjunto datos que contienen los parámetros geométricos mínimos de diseño de carreteras, que son necesario para el control de los elementos creados en el software.

Las plantillas DWT son un archivo de dibujo donde quedan guardadas todas las configuraciones necesarias, para una correcta visualización de cada uno de los componentes del diseño geométrica de carreteras, todos los estilos, los parámetros, las presentaciones de un dibujo, incluidos los bloques de título, líneas, y planos de presentación que optimizan el tiempo de diseño del proyecto.

1.6.2 Variable dependiente

Diseño geométrico de carreteras: El diseño geométrico de carreteras es la parte más importante del proyecto de una carretera, que se establece en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto, que supone para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad de la vía. (Administradora boliviana de carreteras, 2008)

El diseño geométrico de carreteras es un proceso en el cual se diseñan cada uno de los elementos y componentes que las conforman hasta la presentación final de los planos de planta, perfil y secciones transversales.

1.7 Identificación del tipo de investigación

El trabajo se basa en el método de investigación científico como método general de investigación, porque sigue una serie o conjunto de pasos generalmente aceptados, con los cuales se llega a una observación rigurosa, y se aprueban hipótesis sobre los fenómenos percibidos, con lo que se busca en última instancia conformar un sistema de teorías, leyes y procedimientos en un campo determinado de la ciencia.

La investigación es aplicada por que se preocupa en la aplicación de conocimiento en herramientas y así dar solución a un problema.

Tiene un enfoque explicativo descriptivo porque va más allá de la descripción de conceptos y por qué parte del problema bien identificado en los cuales es necesarios el conocimiento de la relación causa- efecto para establecer o formular hipótesis y explicar el problemas o cuestiones íntimamente relacionadas con estas.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad de estudio.

La unidad de estudio es la normativa de diseño geométrico de carreteras de la administradora de boliviana de carreteras ABC, en cada uno de sus elementos del diseño geométrico tanto como planimétrico, altimétrico y de la sección transversal así mismo el diseño geométrico del tramo de la doble vía Yacuiba-Campo Pajoso.

1.8.2 Población.

La población está conformada por las normas de diseño geométricos de carreteras de diferentes países de América. Y la topografía de la carretera Yacuiba-Campo Pajoso que pertenece la ruta N° 9 que es parte de la red fundamental del país.

1.8.3 Muestreo.

La muestra de estudio se realizó de la recolección de datos de 8 normativas de diseño geométrico de carreteras de los diferentes países, con la finalidad de hacer una comparación de los parámetros que estos manejan para realizar los diseños geométricos de carreteras.

- Bolivia
- Estados Unidos
- España
- Argentina
- Chile
- Perú
- Colombia
- México
- Paraguay

Con mayor importancia el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC de Bolivia.

Tamaño de la muestra

$$n = \frac{z^2 * P * q}{d^2}$$

Donde

Z= Nivel de confianza

P= Probabilidad de éxito

q= Probabilidad de fracaso

d= Precisión (Error máximo admisible)

Z= 1.28 (80 % de confianza)

P= 0.95

q= 0.05

d= 0.10

$$n = \frac{1.28^2 * 0.95 * 0.05}{0.1^2}$$

$$n = 7.78 \cong 8 \text{ Normas}$$

1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo.

El método no probabilístico también llamado: muestras dirigidas, supone un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación. La ventaja de una muestra no probabilística desde la visión cuantitativa es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieren no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema.(Roberto Hernandez Sampieri, 2014)

1.9 Métodos y técnicas empleadas.

1.9.1 Métodos.

El método empleado para este trabajo de investigación es el método deductivo, que es un método científico que tiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Es un método de razonar que nos lleva de lo general a lo particular, por lo cual se sigue los siguientes pasos:

Observar: Estudio para las normas de diseño geométrico de carreteras de los países vecinos.

Experimentar: Experimentar con el software de civil de 3D para el diseño geométrico de carreteras

Comparación: De todas las normas de diseño estudiadas se realizó una comparación con la normativa de diseño geométrico de carreteras de la ABC.

Generalizar: Establecer la teoría de relación del uso de archivos de normativos dentro del software civil 3D para el diseño geométrico de carreteras y el uso de la plantilla.

1.9.2 Técnicas.

Recolección de datos

La recolección de datos fue a través de la libreta, que el observador llevaba consigo siempre, para registrar toda la información que pudieran ser de interés para la investigación.

Observación para:

- Exploración del área del proyecto donde se realizará el diseño geométrico de carreteras.
- Seleccionar toda la información necesaria disponible para el proyecto.
- Búsqueda y determinación de documentos técnicos.
- La fuente de investigación, fue la manual de diseño geométrico de carreteras de la administradora boliviana de carreteras ABC.
- Normas de diseño geométrico de carreras de algunos de los países.

Análisis de documentación

Fue una de las etapas fundamentales, el análisis de documentos es un conjunto de pasos destinadas a recuperar un documento y su contenido de una manera diferente en su forma, con el objetivo de tener toda la información y conocimiento del tema de la investigación.

Para el análisis de todos los documentos recolectados:

- Se utilizó el Excel para simplificar los cálculos de los diferentes elementos de curva, así mismo para la tabulación de los parámetros de diseño geométrico de carreteras en el tramo de estudio.
- El software AutoCAD Civil 3D se usó para la hacer los cálculos y diseño de la infraestructura cuyas funciones principales son: reporte de los volúmenes de excavación y la creación de los planos de presentación del diseño.

1.10 Procesamiento de la información.

- Toda la información recolectada fue estudiada y filtrada según la necesidad de la investigación para elaboración de los antecedentes y marco teórico, los datos necesarios serán tabulados en planillas de Excel.

- Con toda la información procesada se desarrolla la plantilla DWT y los archivos necesarios de la normativa de diseño geométrico de carreteras según la normativa de la ABC.
- Con la información recolectada y procesada se elabora el material de ayuda para el manejo de del programa y la plantilla para diseño geométrico de carreteras.
- Se elabora el diseño geométrico de la carretera con las herramientas, los archivos generados de la plantilla de DWT y archivo de la normativa en el tramo de la doble vía Yacuiba-Campo Pajoso
- Análisis interpretativo para la evaluación de los resultados obtenidos en forma parcial para facilitar la comprensión y llegar a las conclusiones y recomendaciones

1.11 Alcance de la investigación

El alcance del presente trabajo fue realizar el diseño geométrico de la doble vía Campo Pajoso Yacuiba con el programa AutoCAD Civil 3D.

Crear los archivos del Manual de la ABC para el diseño geométrico de carreteras, haciendo uso de sus aplicativos, módulos y herramientas disponibles que tiene el programa el AutoCAD Civil 3D.

El archivo XML generado con la normativa o manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC contendrá, los parámetros mínimos de diseño como ser:

- Radios mínimos
- Peraltes
- Longitud de transición de peralte
- Sobre ancho
- Parámetro mínimo K de curvas verticales

Cada uno de los parámetros abarca todas las categorías de diseño geométrico de carreteras dentro del manual de la ABC.

Generar la plantilla de diseño geométrico de carreteras, para una adecuada visualización de cada uno de los elementos que compone el diseño.

Todas las modificaciones que se realizará para la generar la plantilla, se basará en grosores de líneas, colores, tipo de texto y altura de texto para una correcta lectura además de introducir algunos controles o comprobaciones de diseño de diseño en planta, como ser:

- Distancia de frenado
- Distancia de adelantamiento
- Longitud máxima de tramos rectos
- Desarrollo mínimo de curvas
- Longitud de espiral

Se automatizará una rutina o Autolisp para generar la línea de pelo, línea gradiente o línea de ceros con programación básica en lenguaje Lisp.

De ninguna manera se alteró el programa en su código fuente o la manipulación del mismo, solo se hará uso de los módulos o herramientas que el programa dispone para la programación de algunos elementos mediante el módulo de Subassembly Composer y el Autolisp.

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Aspectos generales

El diseño geométrico propiamente se inicia cuando se define, a partir de las consideraciones y antecedentes del caso, una categoría y una velocidad de proyecto para ella. No obstante, es sólo el primer paso del proceso.

Los criterios a aplicar en los distintos casos se establecen mediante límites normativos y recomendaciones que el proyectista, deberá respetar y en lo posible, dentro de límites económicos razonables, para lograr un trazado que satisfaga las necesidades del tránsito y brinde la seguridad y calidad de servicio, que se pretende obtener de la carretera o camino, según sea la categoría asignada.

El buen diseño no resulta de una aplicación mecánica de los límites normativos. Por el contrario, el diseño requiere buen juicio y flexibilidad por parte del proyectista.

Eventualmente, una ruta puede requerir que se definan tramos con distintas velocidades de proyecto, cuando la topografía o el uso de la tierra cambia significativamente, haciendo variar los parámetros de diseño de un mismo tramo.

2.2 Sistema de clasificación funcional para el diseño.

Según la ABC (2008) Existe una clasificación definida por decreto supremo 25134 de 1998 que define el Sistema Nacional de Carreteras, este sistema no está orientado al diseño sino a la administración de la red vial del país.

- Red fundamental
- Red departamental
- Red municipal

2.2.1 Categoría de las vías

Esta clasificación de carreteras y camino está orientada específicamente al diseño de carreteras, para el diseño tiene seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

Tabla 2: Categoría de vías según la ABC

Carreteras	Caminos
Autopistas	Colectores
Autorrutas	Locales
Primarias	Desarrollo

Fuente: Elaboración Propia

Se presenta a continuación las características principales según categorías.

Tabla 3: Clasificación funcional para el diseño de carreteras y caminos rurales

Categoría		Sección transversal		Velocidades de proyecto (km/h)	Código tipo
		Nº de carriles	Nº de calzadas		
Autopistas	(O)	4 o + UD	2	120-100-80	A (n) -xx
Autorrutas	(I. A.)	4 o + UD	2	100-90-80	AR (n) -xx
Primaria	(I. B.)	4 o + UD	2 (1)	100-90-80	P (n) -xx
		2 BD	1	100-90-80	P (2) -xx
Colector	(II)	4 o + UD	2 (1)	80-70-60	C (n) -xx
		2 BD	1	80-70-60	C (2) -xx
Local	(III)	2 BD	1	70-60-50-40	L (2) -xx
Desarrollo		2 BD	1	50-40-30	D - xx

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

UD = Unidireccionales

BD = Bidireccionales

Para los códigos de cada categoría:

(n) = Número total de carriles

-xx = Velocidad de proyecto

2.3 Velocidad en el diseño vial.

Entre las variables que intervienen en la circulación, la velocidad es una de las más importantes, pues influye al mismo tiempo en la calidad del servicio, a través del tiempo que se tarda en un desplazamiento, y en la seguridad en la circulación.

2.3.1 Velocidad de proyecto (Vp.)

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que solo podrá ser empleados siempre que anticipen el usuario que está entrando a un tramo de características mínimas y que debe estar debidamente señalizada.

2.3.2 Velocidad específica (Ve)

La máxima velocidad a la cual se puede circular por un elemento de trazado (curva horizontal de radio y peralte dado, haciendo uso del máximo roce transversal especificado para dicha velocidad, en condiciones de pavimento húmedo y neumáticos en razonable buen estado y condiciones de flujo libre.

La velocidad específica se aplica a los elementos curvos de la planta.

2.3.3 Velocidad percentil 85 (V85%)

Es aquella velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas. En consecuencia, el 85% de los usuarios circulan a la velocidad de V85% o menos del 15% de los usuarios superan dicha velocidad.

Velocidad 85% considerada para el diseño en planta

Según las expresiones internacionales las características en planta y la sección transversal son las que determina en mayor grado la distribución de velocidades que tienden a adoptar los usuarios.

Predicción de la V85% en tramos rectos

La V85% dependerá de:

Tabla 4: Criterios de predicción de la V85% en función de la Vp

Situaciones Posibles		V85% determinada por:
Caso I	$L_r > 400$	Longitud de la Recta
Caso II	$L_r \leq 400$	Las características de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Caso I.- En la tabla 4 se indican las V85% adoptadas para rectas con $L_r > 400$ m.

Tabla 5: V85% al final de una recta según longitud y V_p

V Proyecto (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	120
$400 \leq L_r \leq 600$ m	50	60	70	80	90	100	110	125
$L_r > 600$ m	60	70	80	90	100	110	115	130

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

La velocidad en las rectas (V85%) puede superar hasta en 20 km/h la V_p , en tanto que para las V_p altas la diferencia se reduce a 15 y 10 km/h por sobre la V_p .

Al controlar la longitud en las rectas el proyectista está controlando en alguna medida las altas velocidades de desplazamientos a que tenderán un porcentaje importante de los usuarios.

Caso II: Para una secuencia de curvas horizontales sin rectas intermedias, o con rectas de longitud menores que 400 m la V85% será igual que la V_e calculada en la tabla 17 y 18. O tomar los valores de la tabla mostrada en el caso I para longitudes comprendidas entre $400 \leq L_r \leq 600$ m.

2.3.4 Velocidad V^*

La Velocidad V^* (km/h), se define como aquella empleada para verificar la existencia de D_f (m), en curvas horizontales con obstáculos laterales que limitan la visibilidad, y para el diseño de las curvas verticales convexas, también dependientes de la D_f . Los valores adoptados para V^* son mayores o iguales que V_p , pero en general menores que la V85% del tramo, por cuando la V^* cubre eventos de baja ocurrencia, en tanto que la V85% se asocia al diseño dinámico de las curvas horizontales, en las que se crean esfuerzos laterales que afectan a la totalidad de los usuarios que se desplazan a esa velocidad.

Velocidades V^* adoptadas

Alineaciones Rectas que incluyen una curva vertical convexa que limita la visibilidad, y curvas horizontales precedidas por una recta, con o sin curva vertical.

$$400\text{m} < L_r \leq 600 \text{ m} \rightarrow V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$$

$$L_r > 600 \text{ m} \rightarrow V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$$

Curvas horizontales precedidas por una recta cuya longitud no supere los 400 m, pudiendo existir o no una curva vertical convexas. Si el R. min es el radio horizontal mínimo para V_p , V^* adopta los siguientes valores:

$$R_{min} = R = 1.15 * R_{min} \quad \rightarrow \quad V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$$

$$1.15 * R_{min} < R \leq 1.30 * R_{min} \quad \rightarrow \quad V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$$

$$R > 1.30 * R_{min} \quad \rightarrow \quad V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$$

2.4 Distancia de visibilidad y maniobras asociadas.

Una carretera o camino debe ser diseñada de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar.

Se distingue para el diseño cinco tipos de visibilidad que son:

- Visibilidad de frenado
- Visibilidad de adelantamiento
- Visibilidad al punto de atención
- Visibilidad para cruzar una carretera o camino

Las dos primeras situaciones influyen el diseño de la carretera en campo abierto y serán las tratadas.

2.4.1 Distancia de frenado (Df).

En todo punto de una carretera o camino debe disponer al menos de la visibilidad equivalente a la distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril.

$$D_f = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254(f_i + i)}$$

Donde:

D_f = Distancia de frenado(m)

V = Velocidad de proyecto o V^*

t = Tiempo de percepción + Reacción (s)

f_i = Coeficiente de roce Rodante, Pavimento húmedo

i= Pendiente longitudinal

+i subida respecto al sentido de circulación

-i bajada respecto al sentido de circulación

En la siguiente tabla se presenta valores de la distancia de frenado calculados con la formula mostrada, para la pendiente se consideró $i=0$

Tabla 6: Distancia mínima de frenado en horizontal

V	t	f1	dt	df	df		V
Km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.	km/h
30	2	0.420	16.7	8.4	25.1	25	30
35	2					31	35
40	2	0.415	22.2	15.2	37.4	38	40
45	2					44	45
50	2	0.410	27.8	24.0	51.8	52	50
55	2					60	55
60	2	0.460	33.3	35.5	64.1	65	60
65	2					80	65
70	2	0.380	38.9	50.8	89.7	90	70
75	2					102	75
80	2	0.360	44.4	70.0	114.4	115	80
85	2					130	85
90	2	0.340	50.0	93.9	143.8	145	90
95	2					166	95
100	2	0.330	55.5	119.4	174.9	175	100
105	2					192	105
110	2	0.320	61.1	149.0	210.0	210	110
115	2					230	115
120	2	0.310	66.6	183.0	249.6	250	120
125	2					275	125
130	2	0.295	72.2	225.7	297.9	300	130

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Considerando la pendiente longitudinal se tiene la siguiente tabla.

Tabla 7: Distancia de frenado con influencia de las pendientes

i	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	23	34	47	62	79	99	122	147	175	205	241
9	24	35	47	62	80	100	124	149	177	208	245
8	24	35	48	63	81	102	126	152	180	212	250
7	24	35	48	63	82	103	128	154	183	216	255
6	24	35	49	64	83	104	130	157	187	220	260
5	24	36	49	65	84	106	132	159	190	224	265
4	24	36	50	66	85	107	134	162	193	229	271
3	25	36	50	66	86	109	136	165	197	233	277
2	25	37	51	67	87	111	139	168	201	239	284
1	25	37	51	68	88	113	141	171	206	244	290
0	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250	300
-1	25	38	52	70	91	116	147	179	215	256	306
-2	26	38	53	71	92	119	150	183	220	262	314
-3	26	39	54	72	94	121	153	187	225	269	323
-4	26	39	54	73	96	123	156	191	231	277	333
-5	26	39	55	74	97	126	160	196	238	285	344
-6	27	40	56	75	99	128	164	201	244	294	355
-7	27	40	57	76	101	131	168	207	252	303	368
-8	27	41	58	78	103	134	173	213	260	313	382
-9	27	42	59	79	105	138	178	220	268	324	397
-10	28	42	60	81	108	141	183	227	278	337	414

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.4.2 Distancia de adelantamiento (Da)

La distancia de adelantamiento “Da”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto; esto es para abandonar su carril, sobrepasar el vehículo adelantado y retornar a

su carril en forma segura, sin afectar la velocidad de vehículo adelantado, ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril utilizado para adelantar.

En carreteras con carriles unidireccionales no será necesario considerar en el diseño el concepto de distancia de adelantamiento, basta con diseñar la visibilidad de frente.

Se adoptaron valores medios correspondientes a la tendencia europea, que son del orden de un 5 a 10% menores que los de AASHTO.

Las distancias de adelantamiento se dan en función de la velocidad de proyecto V_p , considerando que difícilmente se intentará maniobras de adelantamiento respecto de vehículos a velocidad mayores.

Tabla 8: Distancia mínima para adelantar

Velocidad de proyecto	Dist. min. de adelantamiento
(Km/h)	(m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

El proyectista procurará dar distancias de visibilidad mayores que las que se indican en la tabla 8.

Para el caso con pendientes $>6\%$ se adopta para esa situación, como valor mínimo de D_a , el correspondiente a una velocidad 10km/h superior a la del camino en estudio.

El proyectista considerará la posibilidad de reducir las características del elemento vertical que limita el adelantamiento, a fin de hacer evidente que no se dispone de visibilidad para esta maniobra quedando ello señalizado. En todo el caso dicho elemento vertical siempre deberá asegurar la visibilidad para D_f .

En tramos superiores a 5 km de longitud, se procurará que los sectores con visibilidad adecuada para adelantar, respecto del largo total del camino se mantenga dentro los porcentajes que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Porcentaje de la carretera con visibilidad para adelantar

Tipo de terreno	% Mínimo	% Deseable
Llano	45	≥ 65
Ondulado	30	≥ 50
Montaña	20	≥ 30

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.4.3 Verificación de la visibilidad en planta

La visibilidad en el interior de una curva horizontal puede estar limitada por obstrucciones laterales. La expresión analítica que se presenta a continuación permite calcular el despeje mínimo necesario en la parte central de la curva.

En las carreteras unidireccionales se podrán usar el mismo procedimiento, pudiendo en este caso ser crítico el carril adyacente al cantero central (izquierdo), para curvas hacia la izquierda.

Para calcular el despeje lateral máximo requerido se debe considerar los dos casos que se ilustran.

Caso I Df O Da < Desarrollo de la Curva Circular

Caso II Df O Da > Desarrollo de la Curva Circular

$$a_{\max} = R * \left[1 - \cos \left(\frac{100 * Dv}{\pi * R} \right) \right]$$

Donde:

a máx.= Despeje lateral al interior de la curva

R= Radio de la curva en análisis

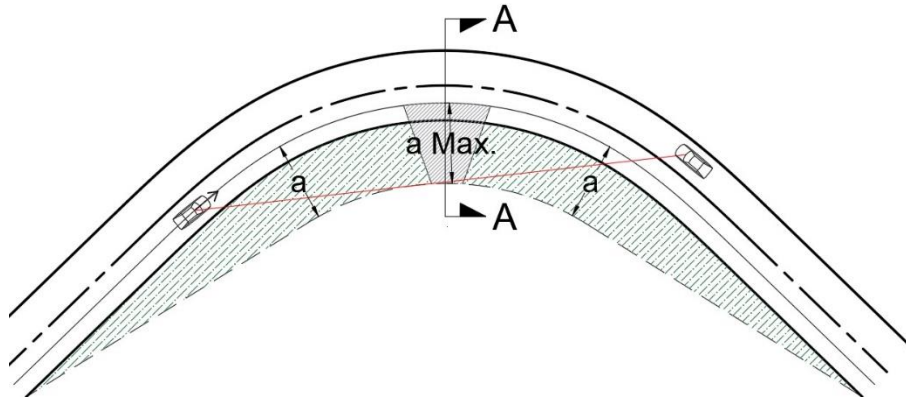
Dv=Df=Da= Según el caso en análisis

La expresión puede remplazarse por:

$$a_{\max} = \frac{Dv^2}{8 * R}$$

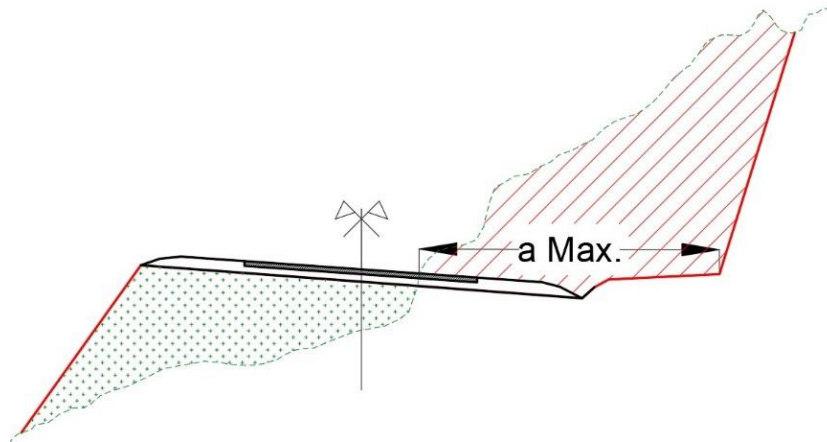
Que da resultados suficientemente aproximados para todos los efectos, cuando se calcula a máx., por condiciones de frenado o cuando se calcula a máx., para $R > D_a$ en el caso de visibilidad de adelantamiento.

Ilustración 4: Verificación de grafica de la visibilidad en planta



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 5: Despeje lateral para la visibilidad en planta



Fuente: Fuente propia

2.5 Trazado en planta.

2.5.1 Aspectos generales.

En tramos restrictivos del trazado se deberá asegurar una operación segura y confortable considerando la velocidad de proyecto (V_p) correspondiente a la categoría de la ruta; en tanto que en los tramos de trazado amplio se deberá considerar la $V_{85\%}$ o la V^* según corresponda, asociando el conjunto de elementos del tramo, en previsión de las velocidades de desplazamiento de adoptar un porcentaje importante de los usuarios en los periodos de baja demanda.

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- Categoría de la ruta
- Topografía del área
- Velocidad de proyecto
- $V_{85\%}$ para diseñar las curvas horizontales
- V^* para verificar la visibilidad de frenado
- Coordinación con el alineamiento vertical
- Costo de construcción, operación y Mantenimiento

Todos los elementos deben conjugarse de manera tal que el trazo resultante sea más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la clasificación.

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazo a lo menos la distancia mínima de frenado.

En calzadas únicas, el eje de simetría será también el eje de giro para desarrollar los peraltes.

La tendencia actual en el diseño de carreteras de cierto nivel se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, los tramos rectos inducen velocidades de $V_{85\%}$ muy por sobre la velocidad de proyecto aumentando el peligro. Una sucesión de curvas de radios adecuados limita la $V_{85\%}$ y mantiene al conductor atento al desarrollo del trazo.

En terreno ondulado fuerte y montañoso, los conductores están dispuestos a una mayor restricción pudiendo emplearse elementos en el orden de los mínimos de norma siempre que ellos no aparezcan de forma sorpresiva.

La obtención de visibilidad de adelantamiento para caminos bidireccionales exige tramos rectos o curvas muy suaves, que permiten adelantar en el mayor porcentaje posible de su longitud.

2.5.2 Alineamiento recto.

Los grandes alineamientos rectos no se dan de forma natural, incorporarlos al trazado implica por lo general movimientos de tierras innecesarios, pueden ser reemplazados por curvas de radio comprendidos entre 5000 y 7500m

2.5.2.1 Longitud máxima en rectas.

Se procurará evitar rectas superiores a:

$$L_r = 20 * V_p$$

Donde:

L_r = Largo de la alineación recta (m).

V_p = Velocidad de proyecto de la carretera (km/h).

En caminos bidireccionales de dos carriles, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendidas entre $8 * V_p$ y $10 * V_p$, enlazadas por curvas cuya V_e sea mayor o igual que la $V_{85\%}$ cubre adecuadamente esta necesidad.

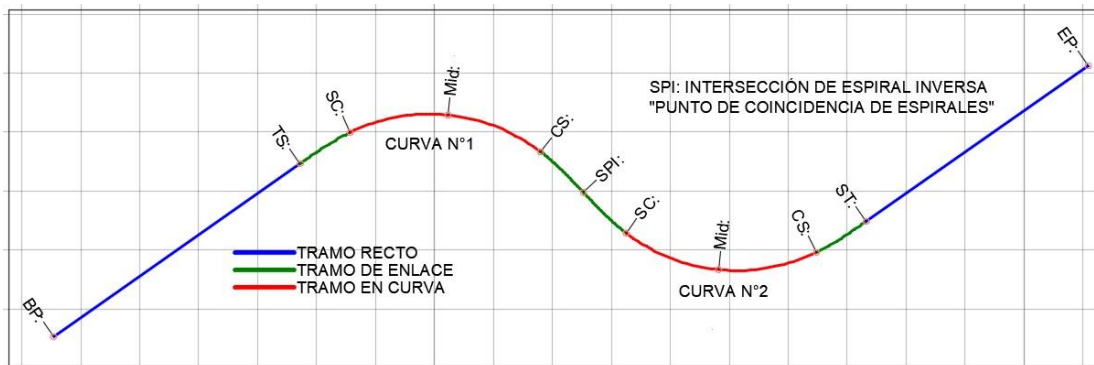
2.5.2.2 Longitud mínima en rectas.

2.5.2.2.1 En curvas en distinto sentido "S".

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido y curvas en el mismo sentido.

En nuevos trazados Deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.

Ilustración 6: Curva de distinto sentido “S” (a).



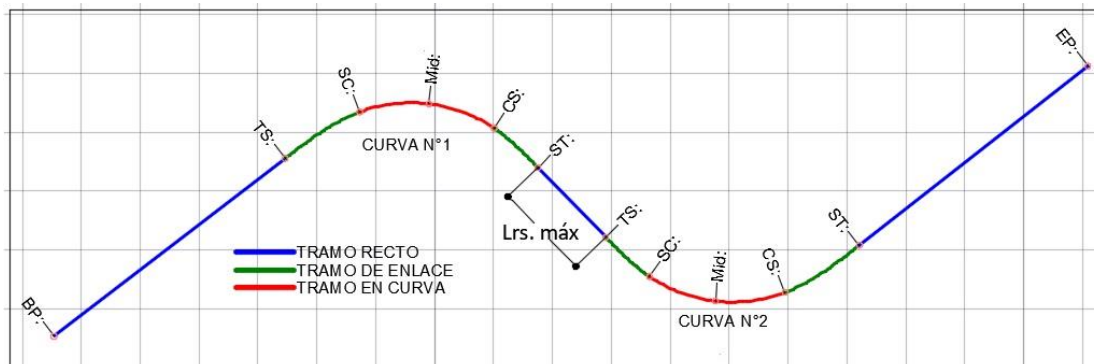
Fuente: Elaboración Propia

En las recuperaciones o cambios estándar Se debe aceptar tramos con rectas intermedios de una longitud no mayor que:

$$Lrs \text{ max} = 0.08 * (A1 + A2)$$

Siendo A1 y A2 los parámetros de las clotoides respectivas.

Ilustración 7: Curva de distinto sentido “S” (b).



Fuente: Elaboración Propia

Tramos rectos intermedios de mayor longitud deberá alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la tabla 9 que están dados por:

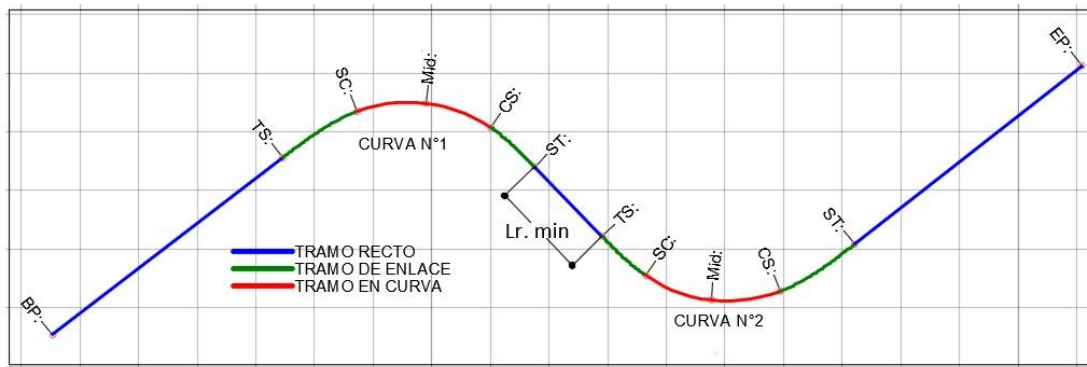
$$: Lr \text{ min} = 1.4 * Vp$$

Tabla 10: Lr mínimo entre curvas de distinto sentido

Vp (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr (m)	56	70	84	98	112	126	140	154	168

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 8: Curva de distinto sentido “S” (c)



Fuente: Elaboración Propia

2.5.2.2.2 En curvas con el mismo sentido “c”.

Es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, la tabla mostrada da valores deseables y mínimos según el tipo de terreno.

Tabla 11: Lr mínimo entre curvas del mismo sentido

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno llano y ondulado	---	110/55	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Terreno montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90	---	---	---	---

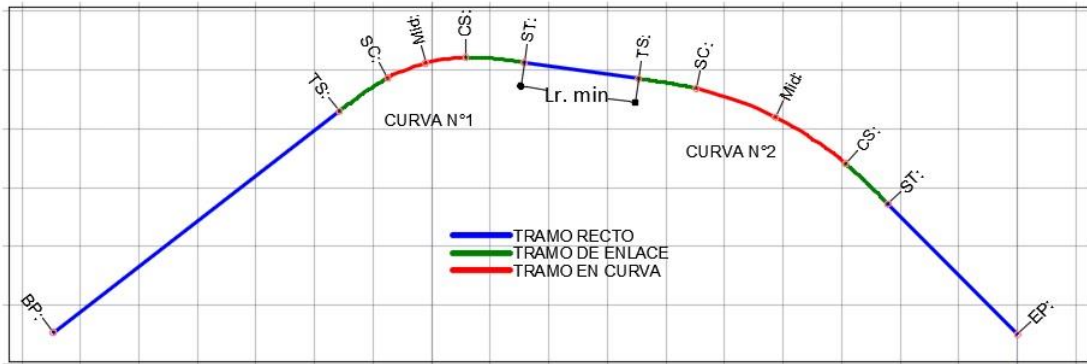
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Valores comprendidos entre Deseables/Mínimos.

Para longitudes de la recta intermedia menores o iguales que los mínimos deseables, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo que le corresponde a la carretera o camino (2, 2.5, ó 3%).

En empleo de valores bajo los deseables solo se aceptará si no es posible reemplazar las dos curvas por una sola de radio mayor.

Ilustración 9: Curvas del mismo sentido



Fuente: Elaboración Propia

2.5.3 Alineamiento en Curvas.

Los cambios de dirección de las rectas se suavizan con las curvas horizontales, las cuales se caracterizan por su “curvatura y su longitud”, estas pueden ser curvas circulares simple o curvas con transición (espiral-curva circular simple-espiral)

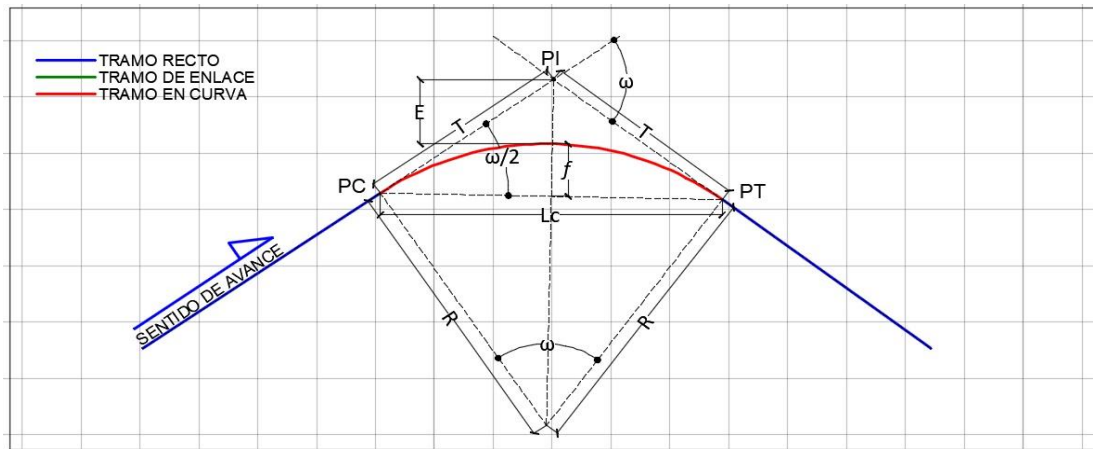
2.5.3.1 Curvas circulares simples.

Las curvas circulares simples se definen como arcos de circunferencia de un solo radio que sirve para empalmar la tangente de una vía (tramos rectos), estas curvas se darán cuando se produzca el cambio de dirección de la tangente por condiciones de topografía.

2.5.3.1.1 Elementos de la curva circular.

Se ilustra los diversos elementos asociados a una curva circular. La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

Ilustración 10: Elementos de curvas circulares



Fuente: Elaboración Propia

PI= Vértice; punto de intersección de dos alineamientos consecutivos del trazo

PC= Punto de inicio de la curva

PT= Punto tangencia entre la curva y el alineamiento

E= Distancia a Externa (m)

f= Distancia de la ordenada media (m)

R= Longitud del radio de la curva (m)

T= Longitud de la tangente (m)

Dc= Longitud del desarrollo de la curva (m)

Lc= Longitud de la cuerda (m)

ω = Angulo de deflexión ($^{\circ}$)

$$T = R * \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)$$

$$E = R * \left[\sec\left(\frac{\omega}{2}\right) - 1 \right]$$

$$f = R * \left[1 - \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) \right]$$

$$Lc = 2 * R * \sin\left(\frac{\omega}{2}\right)$$

$$Dc = \frac{\pi * R * \omega}{180}$$

2.5.3.1.2 Radios mínimos absolutos.

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, esta calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento.

$$R_{\min} = \frac{V_p^2}{127 * (e_{\max} + f)}$$

Donde:

R_{min}= Radio mínimo absoluto (m)

V_p= Velocidad de proyecto (Km/h)

e_{max}= Peralte máximo correspondiente a la carretera o el camino (m/m)

f: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p

Tabla 12: Valores máximo de peralte y la fricción transversal

	V (km/h)	e máx.	f
Camino	30 a 80	7%	0.265-V/602.4
Carreteras	80 a 120	8%	0.193-V/1134

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Tabla 13: Radios mínimos absolutos para caminos

Caminos (colectores-locales-desarrollo)			
V _p	e máx.	f	R min
km/h	%		m
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Tabla 14: Radios mínimos absolutos para carreteras

Carreteras (autopistas-autorruas-primarios)			
Vp	e máx.	f	R min
km/h	%		m
80	8	0.122	250
90	8	0.114	330
100	8	0.105	425
110	8	0.096	540
120	8	0.087	700

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Los radios mismos solo podrán ser empleados al interior de una secuencia de curvas horizontales.

En carreteras o caminos unidireccionales en el que el eje del trazo se desarrolla por el centro del cantero central, el radio efectivo de las curvas será menor que el del eje del trazado; en consecuencia, el radio mínimo del trazado deberá aumentar en al menos el espacio existente entre el eje del trazado y el borde izquierdo.

$$R_{\text{min en el eje de trazado}} = R_{\text{min}} + \frac{m}{2} + (n - 1) * a$$

Donde:

m= Ancho del cantero central

n= Número de carriles por calzada

a= Ancho normal de carril

2.5.3.1.3 Desarrollo mínimo de curvas horizontal.

En general se aceptarán desarrollos mínimos asociados a una variación de azimut entre el PC y PT de la curva circular $\omega \geq 9^\circ$ siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20°

Tabla 15: Desarrollo mínimo para curvas circulares de radio mínimo

Vp (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
9°	7	12	17	26	35	47	60	76	100
20°	16	26	38	57	78	104	134	170	220

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Deflexiones totales con $\omega < 6^\circ$ en estos casos se deberán usar curvas circulares de radios muy amplios, y en trazos nuevos no se aceptarán deflexiones de menos de 2° .

Tabla 16: Desarrollo mínimos para deflexiones $\omega \leq 6^\circ$

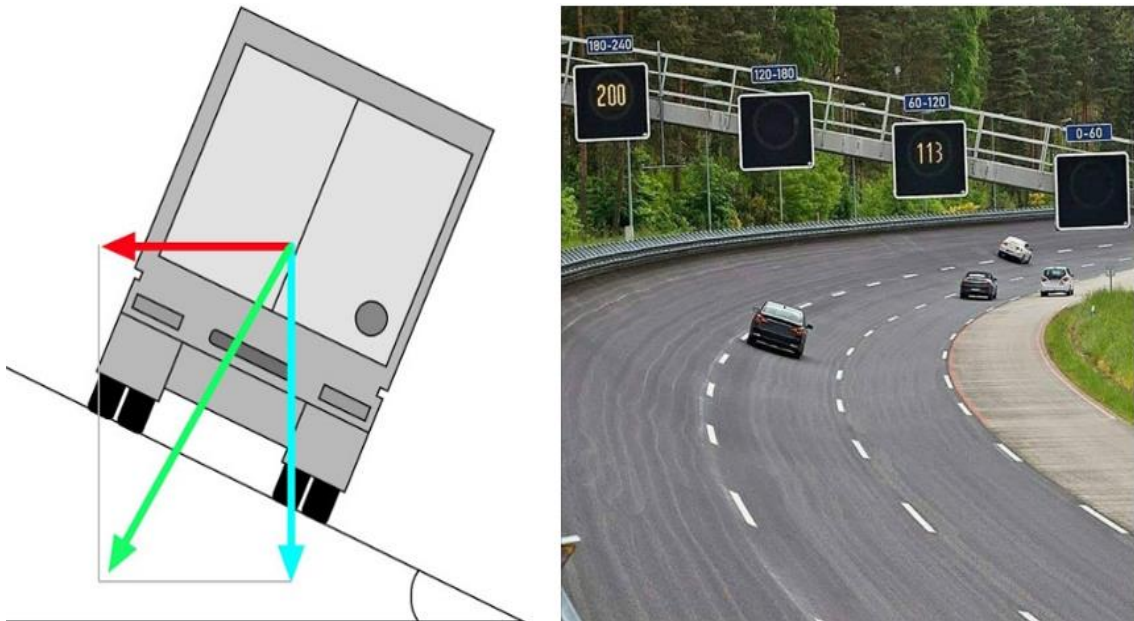
V _p (km/h)	2°	3°	4°	5°	6°
40-60	140	125	115	100	90
70-90	205	190	170	150	130
100-120	275	250	225	200	175

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.5.3.2 Peralte.

El peralte es la sobreelevación del carril exterior sobre el carril interior en una curva horizontal, para verificar la perpendicularidad de la resultante de fuerzas que actúan sobre el vehículo que recorre una curva.

Ilustración 11: Representación del peralte



Fuente: La web.

Radio – peralte - velocidad específica - coeficiente transversal

La ecuación presentada en radio mínimo

$$R_{\min} = \frac{V_p^2}{127 * (e_{\max} + f)}$$

Se puede escribir de la siguiente manera

$$V^2 - 127 * R * (e + f) = 0$$

Si reemplazamos el valor de “f” por la expresión mostrada, para cada uno de los rangos de velocidad allí indicados, y la variable V pasa a denominarse Ve se tendrá:

Para caminos con $V_p \leq 80$ Km/h

$$Ve^2 + (0.211 * R) * Ve - 127 * R * (e + 0.265) = 0$$

Para carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h

$$Ve^2 + (0.112 * R) * Ve - 127 * R * (e + 0.193) = 0$$

Para carreteras

$$250 \leq R \leq 700 \rightarrow e = 8\%$$

$$700 < R \leq 5000 \rightarrow e = 8\% - 7.3 * (1 - 700/R)^{1.3}$$

$$5000 < R \leq 7500 \rightarrow e = 2\%$$

$$7500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

Para caminos

$$25 \leq R \leq 350 \rightarrow e = 7\%$$

$$350 < R \leq 2500 \rightarrow e = 7\% - 6.08 * (1 - 350/R)^{1.3}$$

$$2500 < R \leq 3500 \rightarrow e = 2\%$$

$$3500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

Tabla 17: Velocidad específica según radio - peralte - fricción transversal para carreteras

Carreteras			
Autopistas - Autorrutas – Primarios			
R (m)	e %	Ve (km/h)	F
250	8	80.1	0.122
300	8	86.6	0.117
330	8	90.1	0.114
350	8	92.3	0.112
400	8	97.5	0.107
425	8	99.9	0.105
450	8	102.2	0.103
500	8	106.6	0.099
540	8	109.9	0.096
550	8	110.7	0.095
600	8	114.5	0.092
650	8	118.1	0.089
700	8	121.4	0.086
720	7.9	122.5	0.085
750	7.8	124.1	0.084
800	7.5	126.2	0.082
850	7.2	128.1	0.08
900	7	130.2	0.078
950	6.7	>130	0.077
1000	6.5	>130	0.075
1200	5.7	>130	0.07
1500	4.8	>130	0.064
1800	4.2	>130	0.059
2000	3.8	>130	0.056
2200	3.6	>130	0.054
2500	3.2	>130	0.05
2800	3	>130	0.047
3000	2.8	>130	0.045
3500	2.5	>130	0.041
4000	2.3	>130	0.038
4500	2.1	>130	0.035
5000	2	>130	0.032
7000	2	>130	0.022

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Tabla 18: Velocidad específica según radio – peralte – fricción transversal para caminos

Colectores - locales - desarrollo			
R (m)	e %	Ve (km/h)	f
25	7	30.1	0.215
30	7	32.7	0.211
40	7	37.2	0.203
50	7	41.1	0.197
60	7	44.6	0.191
70	7	47.7	0.186
80	7	50.5	0.181
90	7	53.1	0.177
100	7	55.5	0.173
120	7	59.9	0.166
150	7	65.6	0.156
180	7	70.6	0.148
200	7	73.5	0.143
220	7	76.3	0.138
250	7	80.1	0.132
300	7	84.7	0.118
350	7	90.3	0.113
400	6.6	94.5	0.11
450	6.1	97.9	0.107
500	5.7	101.1	0.104
550	5.4	104.1	0.101
600	5.1	106.8	0.099
700	4.5	>110	0.095
800	4.1	>110	0.091
900	3.8	>110	0.087
1000	3.5	>110	0.084
1200	3.1	>110	0.079
1500	2.7	>110	0.072
1800	2.4	>110	0.066
2000	2.3	>110	0.063
2500	2	>110	0.056
3000	2	>110	0.05
3200	2	>110	0.047

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.5.3.2.1 Desarrollo del peralte en curvas circulares sin curvas de transición.

Eje de giro de peralte

En camino bidireccionales, el giro normalmente se dará en torno al eje en planta se localiza normalmente en el borde interior del pavimento de cada calzada. En este caso los bordes interiores de los pavimentos mantienen las cotas definidas por el perfil longitudinal del eje del proyecto.

2.5.3.2.2 Longitud de desarrollo de peraltes.

La longitud requerida para la transición desde el bombeo (-b) al peralte (+e) o (-e) queda dada por:

$$l = \frac{n * a * \Delta_p}{\Delta}$$

Donde:

l= Longitud de desarrollo del peralte (m)

n= Número de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada

a= Ancho normal de un carril (m)

Δ_p = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) en camino bidireccionales o entre (-b) y (+e) o (-e) para el borde exterior de carreteras unidireccionales

Δ = Pendiente relativa al borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en la tabla 18.

Tabla 19: Valores admisibles pendiente relativa de borde $\Delta\%$

Vp (km/h)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ Normal	0.7	0.6	0.5	0.35
Δ Max n=1	1.5	1.3	0.9	0.8
Δ Max n>1	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Δ Mínimo en zona -b% a +b =0.35% para toda Vp.

Los valores Δ Max solo se usará cuando el espacio disponible para la transición de peralte es limitado.

Tasa de giro.

Es la longitud necesaria expresada en metros, para lograr un giro de 1% en torno al eje

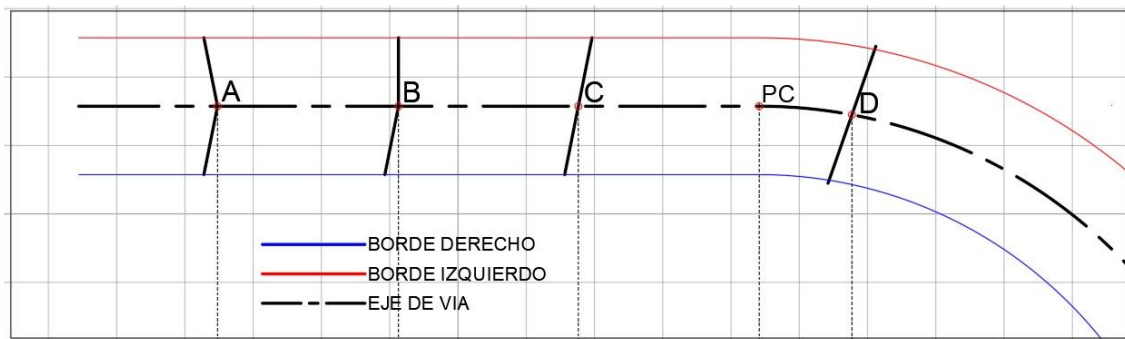
$$tg = \frac{n * a}{\Delta}$$

Giro en los bordes de una calzada bidireccional

Cuando la calzada en recta posee inclinación transversal a dos aguas y se desea dar el peralte en torno al borde interior de la curva borde derecho, ilustración 13

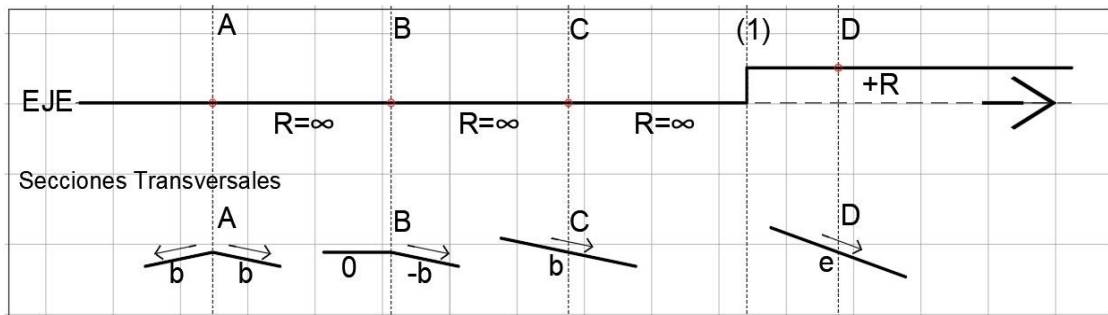
Si el peralte se debe dar en torno al borde exterior de la curva borde izquierdo, ilustración 14

Ilustración 12: Curva circular con esquema de peralte



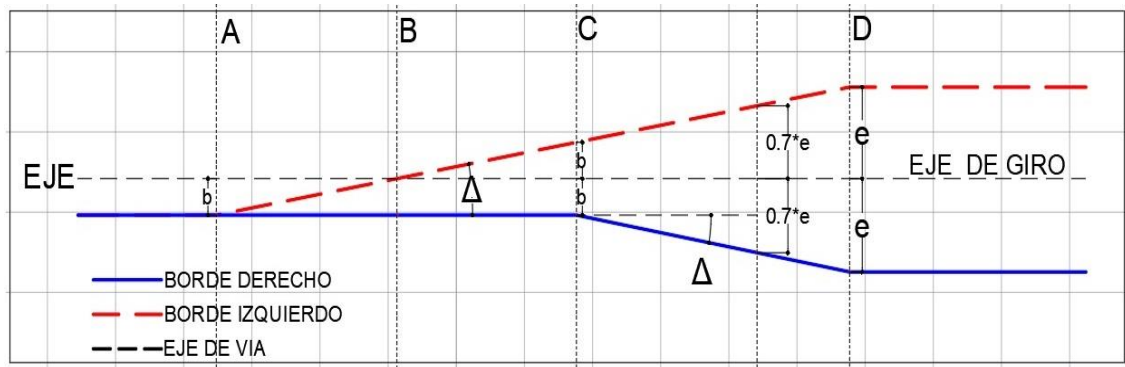
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 13: Diagrama de curva circular



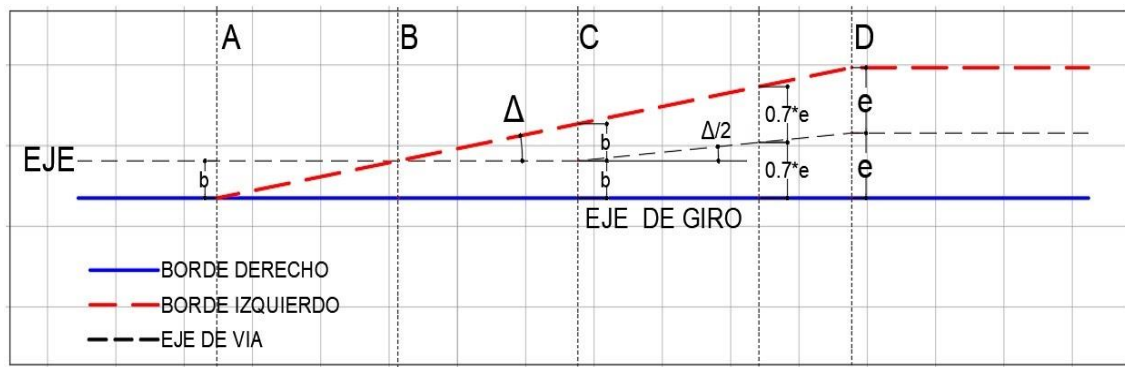
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 14: Desarrollo de peralte (giro alrededor del eje)



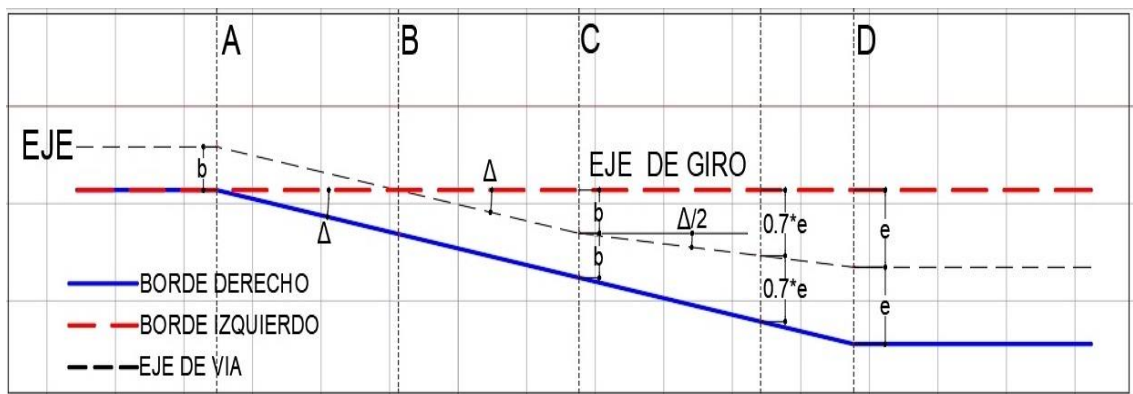
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 15: Desarrollo de peralte (giro alrededor del borde derecho)



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 16: Desarrollo de peralte (giro alrededor del borde izquierdo)



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

En ambos casos que el giro se de en los bordes una calzada la longitud de transición está dada por:

$$l = \frac{(2 * n * a * e)}{\Delta}$$

2.5.3.2.3 Condiciones para desarrollo del peralte.

% En recta

Cuando no exista curvas de enlace de radio variable entre la recta y la curva circular el conductor sigue en mayoría de los casos una trayectoria similar de la curva, esto permite desarrollar una parte del peralte en la recta y otra parte en la curva.

Tabla 20: Proporción del peralte a desarrollar en recta

Mínimo	Normal	Máximo
$e < 4.5$	$e = \text{todos}$	$e \leq 7$
$0.5 * e$	$0.7 * e$	$0.8 * e$

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Las situaciones mínima y máxima se permiten en aquellos casos, normalmente en trazado en montaña, en que por la proximidad de dos curvas existentes dificulta para cumplir con algunas de las condiciones de desarrollo del peralte.

Longitud en curva con peralte total

En camino y carreteras con $V_p \geq 60$ km/h, el diseño de las curvas de escaso desarrollo se deberán verificar de modo que el peralte total requerido se mantenga en una longitud de al menos igual a $V_p/3.6$ (m) y en lo posible, para $V_{85\%} \geq 80$ km/h en al menos de 30 m.

2.5.3.2.4 Desarrollo del peralte en curvas sucesivas.

Entre dos curvas de distinto sentido, separados por una recta corta se podrán emplear los valores máximos para Δ que figuran en la tabla 18.

Entre dos curvas del mismo sentido deberá existir un tramo en recta mínimo. Si la distancia disponible entre FC y PC, se mantendrá en una recta un peralte mínimo del igual sentido que el de las curvas y de una magnitud de al menos igual a la del bombeo de la carretera.

2.5.3.3 Sobreancho en curvas circulares.

En las curvas de radio pequeño, según sea el tipo de vehículo comercial que circula habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres y adecuados (huelgas).

El sobre ancho requerido equivalente al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas.

Las huelgas teóricas consideradas para los vehículos comerciales de 2.6 m de ancho, en recta y en curva, según el ancho de una calzada de dos carriles, son

Tabla 21: Huelgas teóricas

Calzada de 7.0 m		Calzada de 6.0 m	
En recta	En curva ensanchada	En recta	En curva ensanchada
h1=	0.5 m	0.3 m	0.45 m
h2=	0.4 m	0.1 m	0.05 m
h2 ext.=	0.4 m	0.1 m	0.0 m

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Donde:

h1= Huelga entre cada vehículo y el eje demarcado

h2= Huelga entre el cada exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior del carril por la que circula (en recta) o de la última rueda de un vehículo simple o articulado y el borde interior de la calzada en curvas.

h2 ext= Huelga entre el extremo exterior del parachoques delantero y el borde exterior de la calzada, $h2\ ext \approx h2$ en recta, $h2\ ext \approx 0$ en curvas ensanchadas.

2.5.3.3.1 Cálculo del sobreancho.

El cálculo detallado del sobre ancho en curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolló mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos, considerando el ancho de la calzada y las huelgas definidas.

Tabla 22: Ensanche de calzada E (m) que permite el cruce de 2 vehículos

Tipo de vehículo	Parámetro de calculo	E	e. int	e. ext	Radio limite
Lt en (m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Calzada en recta 7.0 m (n=2) $0.5 \text{ m} \leq E \leq 3.0 \text{ m}$ $E = e.int + e.ext$ $h1 = 0.6 \text{ m}$ $h2 = 0.4 \text{ m}$					
Camión Unid. Simple	Lo=9.5	$(L_o^2/R)-0.2$	0.65* E	0.35* E	$30 \leq R \leq 130$
Lt = 11.0* m					
Bus corrientes					
Lt = 12.0* m					
Bus de turismo	Lo=10.5	$(L_o^2/R)-0.2$	0.65* E	0.35* E	$35 \leq R \leq 160$
Lt = 13.2* m					
Bus de Turismo	Lo=10.6				
Lt = 14.0* m					
Semitrailer	L1=5.6	$((L1^2+L2^2)/R)-0.20$	0.7*E	0.30* E	$45 \leq R \leq 190$
Lt = 16.4* m	L2=10.0				$60 \leq R \leq 260$
Semitrailer	L1=5.6				$60 \leq R \leq 260$
Lt = 18.6* m	L2=12.2				$85 \leq R \leq 380$
Semitrailer	L1=5.6	$((L1^2+L2^2)/R)-0.20$			
Lt = 22.4* m	L2=15.5				
Si e.int calculado $\leq 0.35 \text{ m}$, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche de E en e.int					
Calzada en recta 6.0m (n=2) $0.35 \text{ m} \leq E \leq 3.20 \text{ m}$ $E = e.int + e.ext$ $h1 = 0.45 \text{ m}$ $h2 = 0.05 \text{ m}$					
Camión Unid. Simple	Lo=9.5	$(L_o^2/R)+0.15$	55*E	0.45* E	$30 \leq R \leq 450$
Lt = 11.0* m					
Bus Corrientes					
Lt = 12.0* m					
Bus de Turismo	Lo=10.5	$(L_o^2/R)+0.15$	55*E	0.45* E	$35 \leq R \leq 550$
Lt = 13.2* m					
Bus de Turismo	Lo=10.6				
Lt = 14.0* m					
Semitrailer	L1=5.6	$((L1^2+L2^2)/R)+0.2$ 0	55*E	0.45* E	$45 \leq R \leq 650$
Lt = 16.4* m	L2=10.0				
Semitrailer	L1=5.6	$((L1^2+L2^2)/R)+0.2$ 1	55*E	0.45* E	$65 \leq R \leq 850$
Lt = 18.6* m	L2=12.2				
Semitrailer	L1=5.6	No corresponde a Camino con calzada de 6.0 m			
Lt = 22.4* m	L2=15.5				
Si e.int calculado $\leq 0.35 \text{ m}$, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche de E en e.int					

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Donde:

Lt= Largo total del vehículo (* indica el largo máximo legal)

Lo= Distancia entre parachoques delantero y ultimo eje trasero

L1= Distancia entre el parachoques delantero y ultimo eje camión tractor

L2= Distancia entre el pivote de mesa de apoyo y ultimo eje del tándem trasero

Tabla 23: Ensanche de calzada en caminos con $V_p < 60 \text{ km/h}$

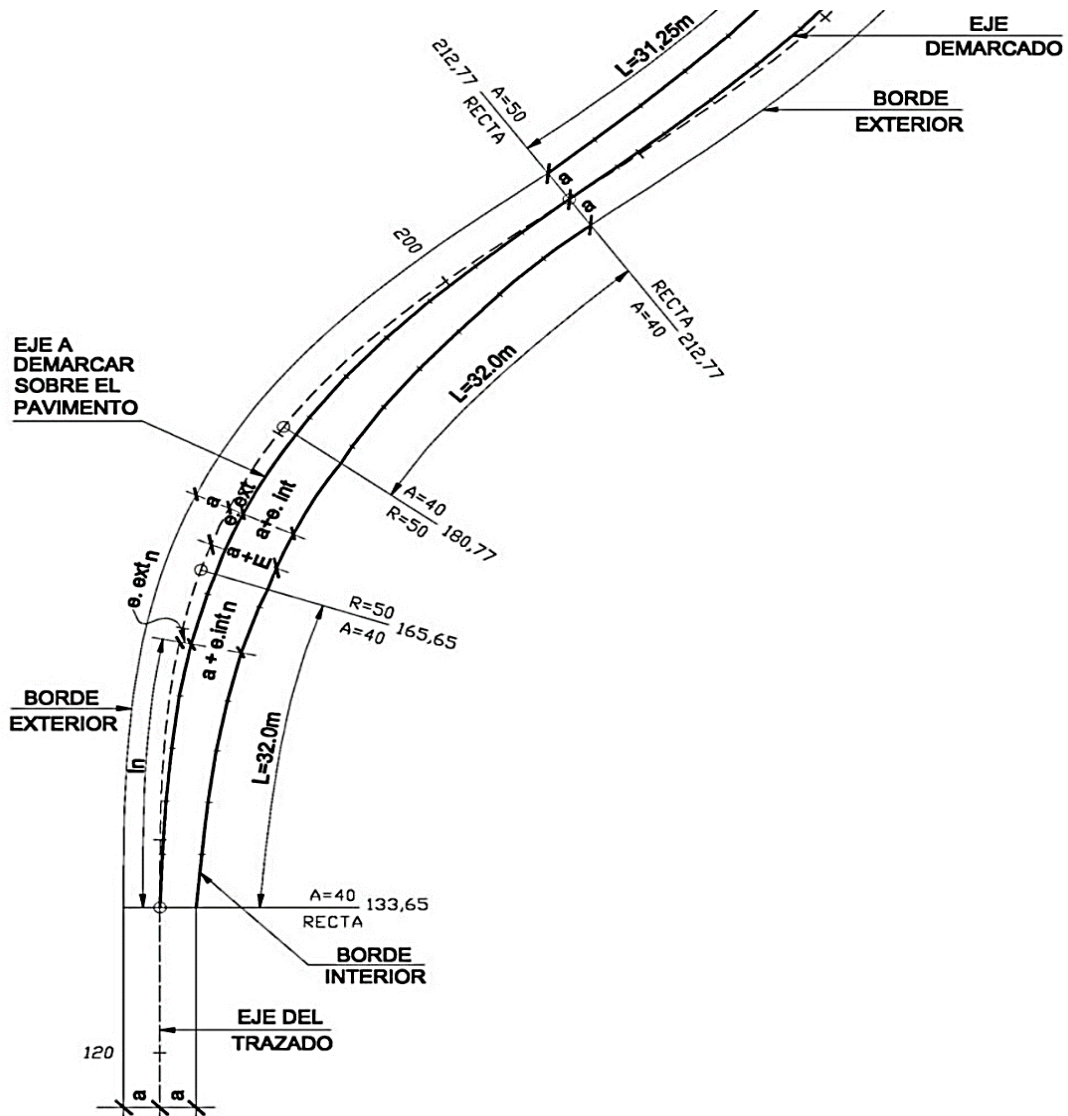
Tipo de vehículo	Parámetro de calculo	E	e. int	e. ext	Radio limite
Lt en (m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Camión Unid. Simple	Lo=9.5	$(L_o^2/R)-0.85$	0.55*E	0.45*E	$25 \leq R \leq 75$
Lt = 11.0 m					
Bus corrientes					
Lt = 12.0 m	Lo=10.5	$(L_o^2/R)-0.86$	0.55*E	0.45*E	$30 \leq R \leq 95$
Bus de turismo					
Lt = 13.2 m					
Bus de turismo	Lo=10.6	$(L_o^2/R)-0.86$	0.55*E	0.45*E	$30 \leq R \leq 95$
Lt = 14.0 m					
Semitrailer	L1=5.6	$((L_1^2+L_2^2)/R)-0.80$	0.55*E	0.45*E	$35 \leq R \leq 115$
Lt = 16.4 m	L2=10.0				
Semitrailer	L1=5.6	$((L_1^2+L_2^2)/R)-0.81$	0.55*E	0.45*E	$50 \leq R \leq 155$
Lt = 18.6 m	L2=12.2				
Semitrailer	No corresponde a caminos con $V_p \leq 60 \text{ Km/h}$				
Lt = 22.4 m					

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.5.3.3.2 Desarrollo del sobreechancho.

En carreteras y caminos, con la sola excepción de los de desarrollo, la transición del ancho en recta al ancho correspondiente al inicio de la curva circular que requiere ensanches, se dará en una longitud de 40 m. En todo caso se procurará no se menor de 30 m.

Ilustración 17: Transición del sobre ancho en la curva horizontal



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.5.3.4 Curvas con enlace.

La incorporación de elementos de curvatura variable con el desarrollo, entre recta y curva circular o entre dos curvas circulares, se hace necesario en carreteras y caminos por razones de seguridad, comodidad y estética.

La curvatura variable permite desarrollar el peralte a lo largo de un elemento curvo, evitando calzadas peraltadas en rectas.

Se empleará arcos de enlace o transición en todo proyecto cuya velocidad sea mayor o igual a 40 km/h.

Solo se podrá prescindir del arco de enlace en:

Caminos $V_p \leq 80$ km/h para radios ≥ 1500 m

Carreteras $V_p \geq 80$ km/h para radios ≥ 3000 m

2.5.3.4.1 Clotoide como arco de enlace.

Como elemento de curvatura variable en arcos de enlace, o como elementos de trazado propiamente tal, se empleará la clotoide que presenta varias ventajas, entre ellas están:

- El crecimiento lineal de su curvatura permite una marcha uniforme y cómoda para el usuario.
- Se controla la aceleración transversal no compensada y al mismo tiempo que aparece de forma progresiva.
- El desarrollo del peralte se logra en forma progresiva.

2.5.3.4.2 Ecuación paramétrica.

La clotoide es una curva de la familia de las espirales, cuya ecuación paramétrica está dada por:

$$A^2 = R * L$$

Donde:

A= Parámetro (m).

R= Radio de la curvatura en un punto (m).

L= Desarrollo (m) desde el origen al punto de radio R.

El parámetro de A define la magnitud de la clotoide, lo que a su vez fija la relación entre R, L y τ . Siendo τ el ángulo comprendido entre la tangente a la curva en el punto (R, L) y la alineación recta normal a $R = \infty$ que pasa por el origen de la curva.

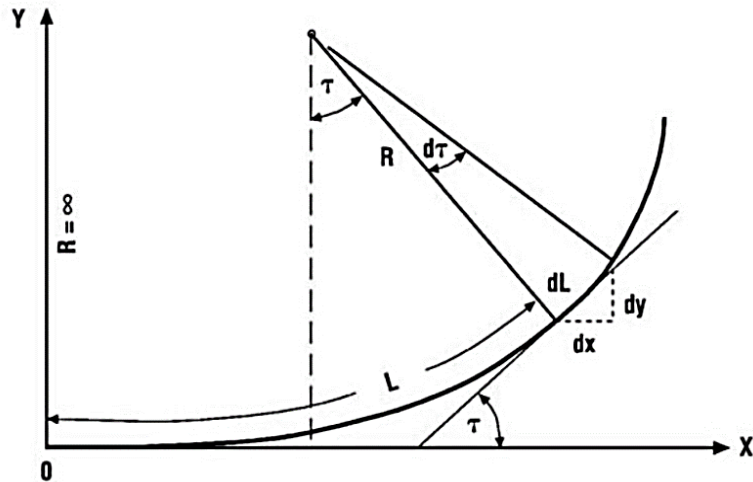
Las expresiones que ligan R, L y τ son:

$$\tau \text{ radianes} = \frac{L^2}{2 * A^2} = 0.5 * \frac{L}{R}$$

$$\tau \text{ grados cent} = 31.831 * \frac{L}{R}$$

2.5.3.4.3 Ecuación cartesiana.

Ilustración 18: Relaciones geométricas fundamentales



$$\begin{aligned}
 A^2 &= RL \\
 Rd\tau &= dL \\
 \int d\tau &= \int \frac{LdL}{A^2} \\
 \tau &= \frac{L^2}{2A^2} + \text{cte.} \\
 L &= 0; \tau = 0 \dots \text{cte} = 0 \\
 \tau &= \frac{L^2}{2A^2} = 0.5 \frac{L}{R}
 \end{aligned}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

De la ilustración 16 se deduce:

$$dx = dL * \cos \tau$$

$$dy = dL * \text{sen } \tau$$

$$R = \frac{dL}{d\tau}$$

$$\tau = \frac{L}{2 * R}$$

$$dL = A * \frac{d\tau}{\sqrt{2 * \tau}}$$

$$X = \frac{A}{\sqrt{2}} * \int \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau$$

$$Y = \frac{A}{\sqrt{2}} \int \frac{\text{sen } \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau$$

$$X = A * \sqrt{2 * \tau} * \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \frac{\tau^6}{9.360} + \dots \right)$$

$$Y = A * \sqrt{2 * \tau} * \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1.320} - \frac{\tau^7}{75.600} + \dots \right)$$

Escribiendo de otra manera

$$X = A * \sqrt{2 * \tau} * \left(\frac{\sum (-1)^{n+1} * \tau^{2*n-2}}{(4 * n - 3) * (2 * n - 2)!} \right)$$

$$Y = A * \sqrt{2 * \tau} * \left(\frac{\sum (-1)^{n+1} * \tau^{2*n-1}}{(4 * n - 1) * (2 * n - 1)!} \right)$$

Estas últimas son las que usan actualmente en los programas computacionales de diseño. Aunque tenemos la siguiente fórmula que simplifica las otras expresiones

$$A * \sqrt{2 * \tau} = L$$

2.5.3.4.4 Elección del parámetro “A”.

Se tiene varios criterios para la elección del parámetro de la clotoide:

Criterio A

Por condición de guiado óptico, es decir para tener una clara percepción del elemento de enlace y de curvatura circular, el parámetro de estar comprendido entre:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Criterio B

Como condición adicional de guiado óptico es conveniente que si el radio enlazado posee un $R \geq 1.2 R_{\min}$ el retranqueo de la curva circular enlazada (ΔR) sea ≥ 0.5 m, condición que está dada por:

$$A \geq (12 * R^3)^{0.25}$$

Criterio C

La longitud de la clotoide sea suficiente para desarrollar el peralte, condición que se cumple si:

$$A \geq \left(\frac{n * a * e * R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

Donde:

n= Número de carriles entre el eje de giro y el borde del pavimento peraltado.

a= Ancho de cada carril, sin considerar ensanches.

e= Peralte de la curva.

R= Radio de la curva.

Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro.

Criterio D

La longitud de la clotoide sea suficiente para que el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte, pueda distribuirse a una tasa uniforme $J(m/s^3)$, este criterio dice la relación con la comodidad del usuario al describir la curva de enlace

$$A = \left(\frac{Ve * R}{46.656 * J} * \left(\frac{Ve^2}{R} - 1.27 * e \right) \right)^{1/2}$$

Ve= Velocidad específica (km/h) – con máximos de 110 km/h en caminos y 130 km/h en carreteras.

R= Radio de la curva circular enlazada (m).

J= Tasa de distribución de la aceleración trasversal (m/s^3).

e= Peralte de la curva circular (%).

Se considera dos grupos de valores de J para el diseño, según sea la situación que se esté abordando.

Criterio D-1

Si el valor del radio que se está enlazando posee un valor comprendido entre $R_{min} \leq R \leq 1.2 R_{min}$, resulta conveniente emplear los valores de J máx. que se presentan en la tabla 24.

Tabla 24: Tasa máxima de distribución de la aceleración transversal

Ve=Vp (km/h)	40-60	70	80	90	100	120
J máx. (m/s^3)	1.5	1.4	1.0/0.9	0.9	0.8	0.4

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

En la tabla que se presenta a continuación contiene los parámetros mínimos así calculados

Tabla 25: Parámetros mínimos de la clotoide por criterios de J_{max} y Δ_{max}

Vp (km/h)	R min (m)	A mínimo	
		Bidireccionales	Unidireccionales
Caminos (e máx. =7 %)			
40	50	29	-
50	80	37	-
60	120	48	68
70	180	50	83
80	250	83	117
Carreteras (e máx. =8 %)			
80	250	89	125
90	330	110	144
100	425	142	173
110	540	190	195
120	700	-	234

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Criterio D-2

Si el radio que se está enlazando posee un valor de $R \geq 1.2 R_{min}$. Se empleará los valores de J normal que se indican en la tabla 26.

Tabla 26: Tasa normal de distribución de aceleración transversal

Ve = (km/h)	Ve ≤ 80	Ve ≥ 80
J normal (m/s³)	0.5	0.4

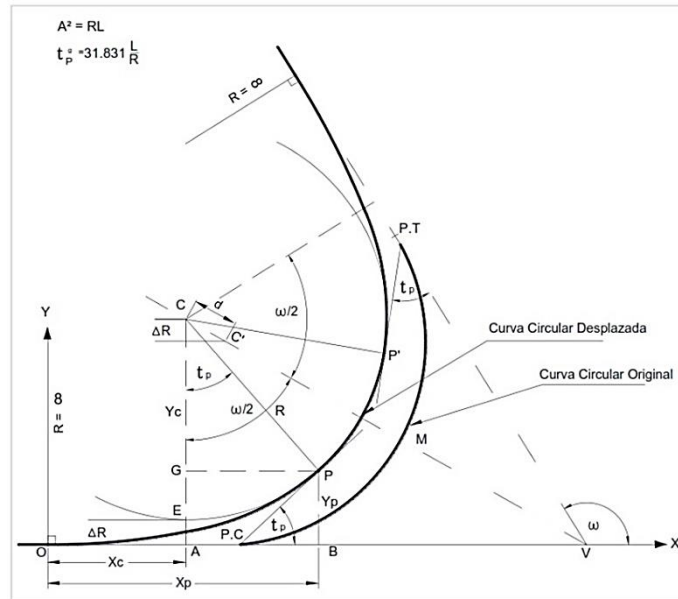
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Desarrollo máximo de la clotoide

No es conveniente emplear desarrollos de clotoides excesivamente largos, siendo recomendable limitarlos a $L_{máx.} = 1.5 L_{normal}$

2.5.3.4.5 Elemento del conjunto arco de enlace curva circular.

Ilustración 19: Elementos del conjunto arco de enlace - curva circular



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

R = Radio de la curva circular que se desea enlazar (m).

D = Desplazamiento del centro de la curva circular original (C).

ΔR = Retranqueo o desplazamiento de la curva enlazada (m).

X_p, Y_p = Coordenadas del centro de P , punto de tangencia de la clotoide con la curva circular enlazada, en que ambas poseen un radio común R (m).

X_c, Y_c = Coordenadas del centro de la curva circular retranqueada (m).

τ_p = Ángulo comprendido entre la alineación considerada y la tangencia en el punto P comen a ambas curvaturas. Mide la desviación máxima de la clotoide respecto de la alineación (g).

ω : Deflexión angular entre las alineaciones consideradas (g).

OV = Distancia desde el vértice al origen de la clotoide, medida a lo largo de la alineación.

D_c = Desarrollo de la curva circular retranqueada entre los puntos PP' (m).

Retranqueo

$$\Delta R = EA = (PB - GE)$$

$$\Delta R = Y_p - R(1 - \cos(\tau_p))$$

Retranqueo centro

$$d = CC' = \frac{\Delta R}{\cos \frac{\omega}{2}}$$

Origen de curva de enlace

$$OV = Xp + AV - AB$$
$$OV = Xp + (R - \Delta R) \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau p$$

Coordenadas de c

$$Xc = Xp - R \operatorname{sen} \tau p$$
$$Yc = Yp + R \cos \tau p = R + \Delta R$$

Desarrollo circular

$$PP' = \frac{R * (\omega - 2 * \tau p)}{63.662}$$

Expresiones aproximadas

Dado las expresiones cartesianas de la clotoide son desarrollos en serie en función de f para ángulos pequeños es posible despreciar a partir del segundo término de la rasante y obtener las expresiones más simples.

De las ecuaciones cartesianas se tiene:

$$L = A * \sqrt{2 * \tau}$$

Despreciando a partir del segundo término de la serie:

$$Y \cong L$$
$$Y \approx \frac{L * \tau}{3} = \frac{L^2}{6 * R}$$

El retranqueo ΔR puede expresarse en forma exacta como un desarrollo en serie:

$$\Delta R = \left(\frac{L^2}{24 * R} - \frac{L^4}{2.688 * R^3} + \frac{L^6}{506.880 * R^5} - \dots \right)$$

Si se desprecia desde el segundo término se tiene:

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R}$$

Combinando las ecuaciones se tiene:

$$Y = 4 * \Delta R$$

Entonces las coordenadas del centro de la curva retranqueada son:

$$Xc = \frac{L}{2} = \tau * R$$

$$Yc = R + \Delta R + \frac{L}{24 * R}$$

2.5.3.4.6 Desarrollo del peralte en arcos de enlace.

Cuando existe arco de enlace, el desarrollo del peralte puede darse de forma tal que el valor alcanzado sea exactamente el requerido por el radio de curvatura en el punto considerado, obteniéndose el valor máximo de “e” justo en el principio de la curvatura de la curva circular retranqueada.

Será necesario efectuar en la alineación recta el giro de carril o de la calzada la pendiente transversal nula en el inicio de la curvatura de enlace. Si se hiciera la transición desde -b% a 0% dentro de la curvatura de enlace, quedaría un sector con un déficit de peralte.

El eje de giro normal en torno al eje de las calzadas bidireccionales y en los bordes interiores del pavimento en las unidireccionales.

El desarrollo del peralte tendrá una longitud total a:

$$l = l_0 + L$$

Donde:

l_0 = Desarrollo en la recta para pasar de -b% a 0%.

L= Desarrollo en la clotoide para pasar de 0% a e%.

Para calzadas de doble bombeo o de pendiente transversal única de sentido opuesto al giro de peralta, la longitud, “ l_0 ” vale.

$$l_0 = \frac{n * a * b}{\Delta}$$

Donde:

n= Número de carriles entre el eje de giro y el borde de calzada.

a= Ancho normal de un carril (m). se prescinde de posibles ensanches.

b= Bombeo o pendiente transversal normal en recta.

Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto al eje de giro.

Para minimizar los problemas de drenaje a partir del comienzo de la curvatura de enlace se desarrollará el giro desde 0% a b%, manteniendo la pendiente del borde “ Δ ” utilizado en el tramo en recta, resultando una longitud idéntica a la ya definida.

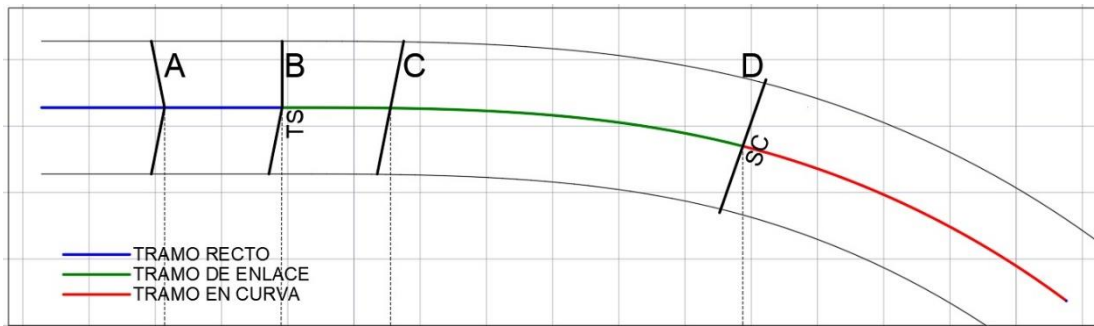
El saldo de peralte por desarrollar se dará entonces en la longitud L-lo resultando una pendiente relativa de borde:

$$\Delta_{ce} = \frac{n * a(e - b)}{L - l_0}$$

Si el desarrollo del peralte se da con Δ único entre 0% y e% a todo lo largo de la clotoide, el Δ resultante será:

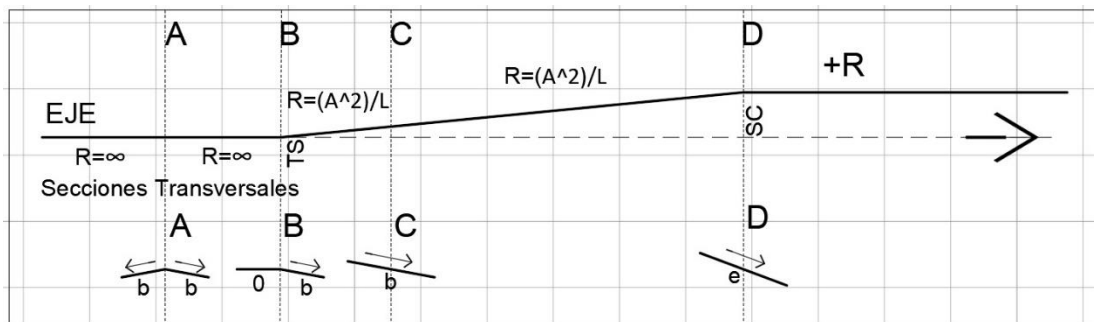
$$\Delta = \frac{n * a * e}{L}$$

Ilustración 20: Curva con enlace y esquema del peralte - bidireccional



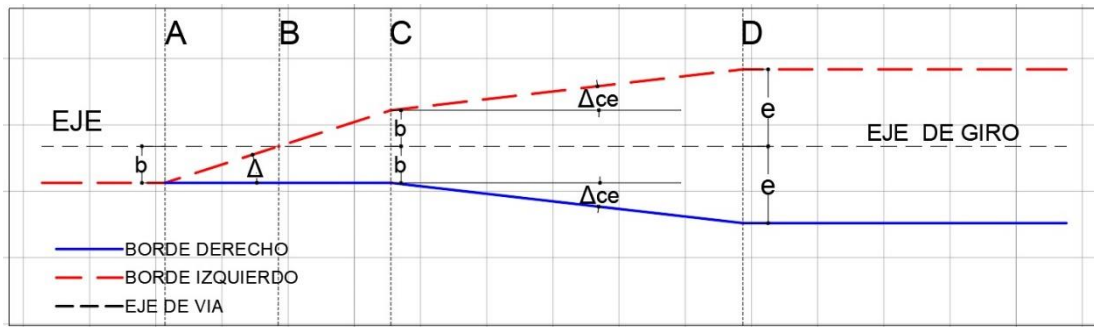
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 21: Diagrama de curva con enlace - bidireccional



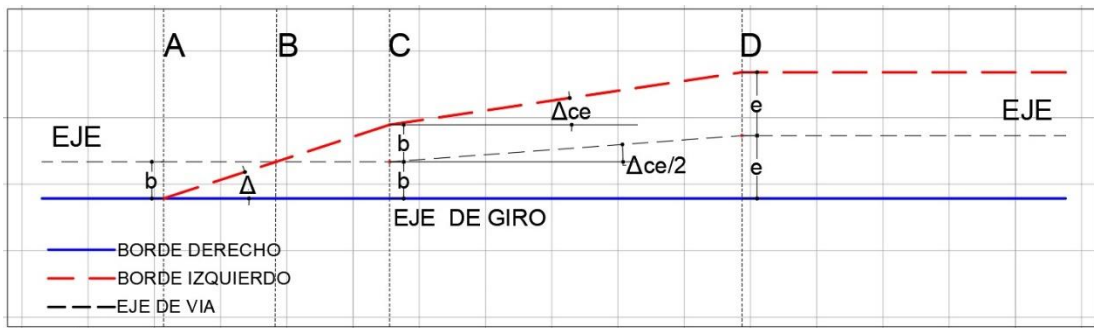
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 22: Desarrollo de peralte (giro alrededor del eje de simetría) bidireccional



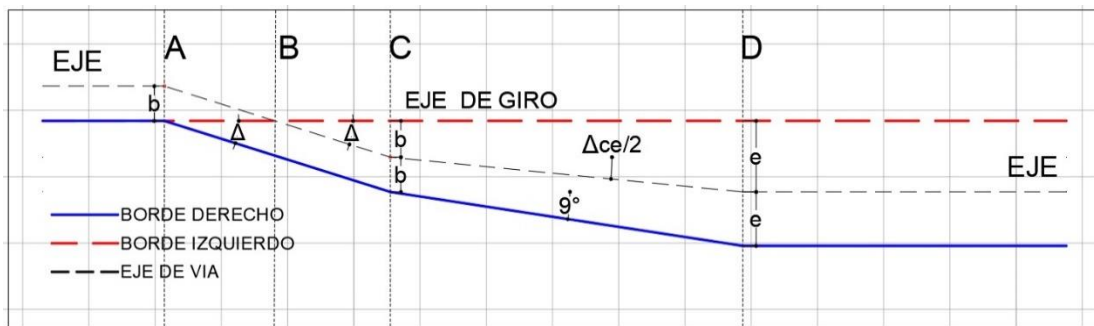
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 23: Desarrollo del peralte (giro alrededor del borde derecho) bidireccional



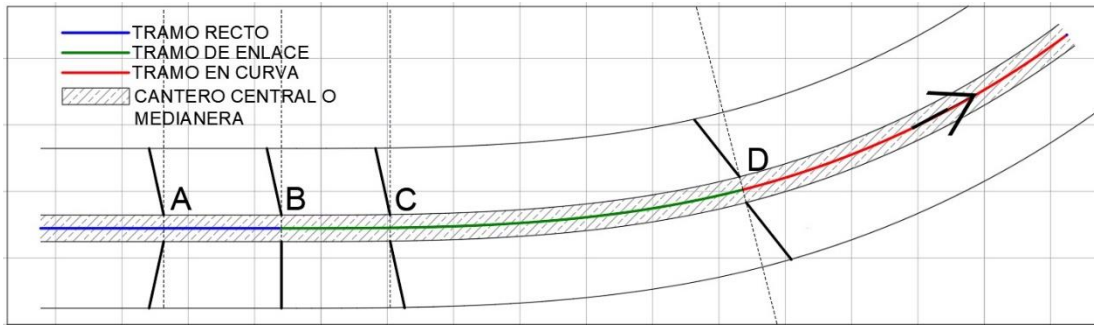
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 24: Desarrollo del peralte (giro alrededor del borde izquierdo) bidireccional



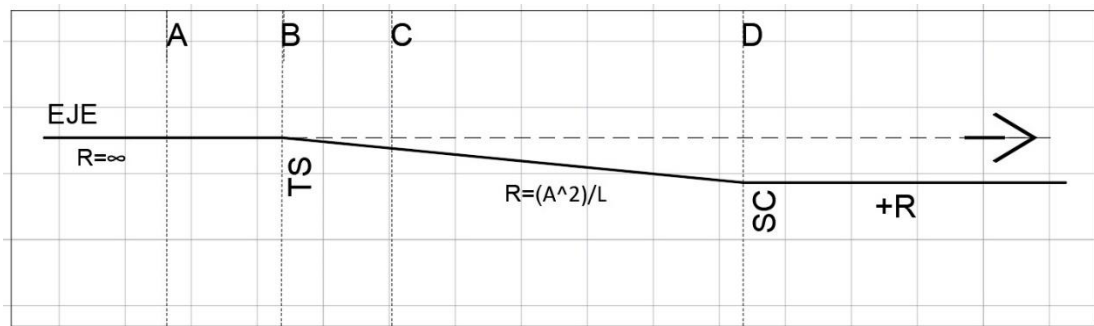
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 25: Curva con enlace y esquema del peralte - unidireccional



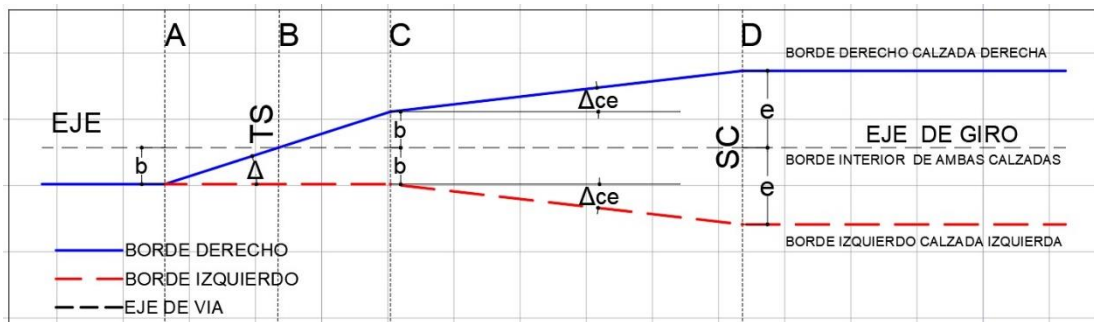
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 26: Diagrama de Curva con enlace - unidireccional



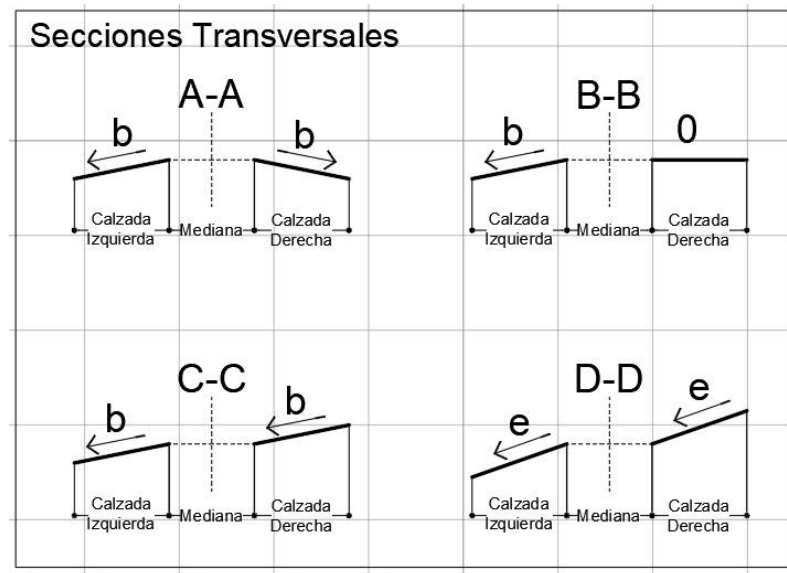
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 27: Diagrama del Peralte en Curva con enlace - unidireccional



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 28: Secciones transversales de una curva con enlace - unidireccional



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.5.3.4.7 Sobreechanco en curvas con arcos de enlace.

La longitud para desarrollar el sobreechanco será de 40 m. Si el arco de enlace es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m antes del principio de la curva circular. Si el arco de enlace es menor a 40 m el desarrollo del sobre ancho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

El sobreechanco se genera mediante una variación lineal con el desarrollo:

$$e_n = \frac{E}{L} * ln$$

Donde:

e_n = Ensanche hacia el interior de la curva correspondiente a un punto ln metros desde el origen.

L = Longitud total del desarrollo del sobre ancho, dentro de la curva de enlace.

2.6 Trazado vertical.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes sucesivas se define según el avance de la distancia acumulada (Dm), siendo positivos aquellas que implican un aumento de cota y negativas las que se producen una pérdida de cota.

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requerida por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la visibilidad de frenado que corresponde a la V^* del tramo.

2.6.1 Ubicación de la rasante.

Cuando el proyecto considera calzada única, en la mayoría de los casos, el eje en planta será eje de simetría de la calzada

En carreteras unidireccionales con calzadas independiente pueden ser necesarias dos rasantes, cada una de ellas asociada al respectivo eje en planta.

2.6.2 Inclinación de la rasante.

2.6.2.1 Pendiente máxima admisible.

Tabla 27: Pendiente máxima admisible en función de la velocidad

Categoría	Velocidad de proyecto (Km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9							
Local		9	9	8	8					
Colector				8	8	8				
Primario						6	5	4.5		
Autorruta						6	5	4.5		
Autopista						5		4.5	-	4

110 km/h no está considerada dentro del rango de V_p asociadas a las categorías.

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

En caminos de alta montaña, cuando se superan los 2.500 m sobre el nivel de mar, la pendiente máxima deberá limitarse según la siguiente tabla.

Tabla 28: Pendientes máximas % según altura s.n.m.

Altura S.N.M.	Velocidad de proyecto (Km/h)					
	30	40	50	60	70	80
2500 - 3000 m	9	8	8	7	7	7/5 ⁽¹⁾
3100 - 3500 m	8	7	7	6.5	6.5	6/5 ⁽¹⁾
Sobre 3500 m	7	7	7	6	6	5/4.5 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Valor máximo para caminos / valor máximo para carreteras

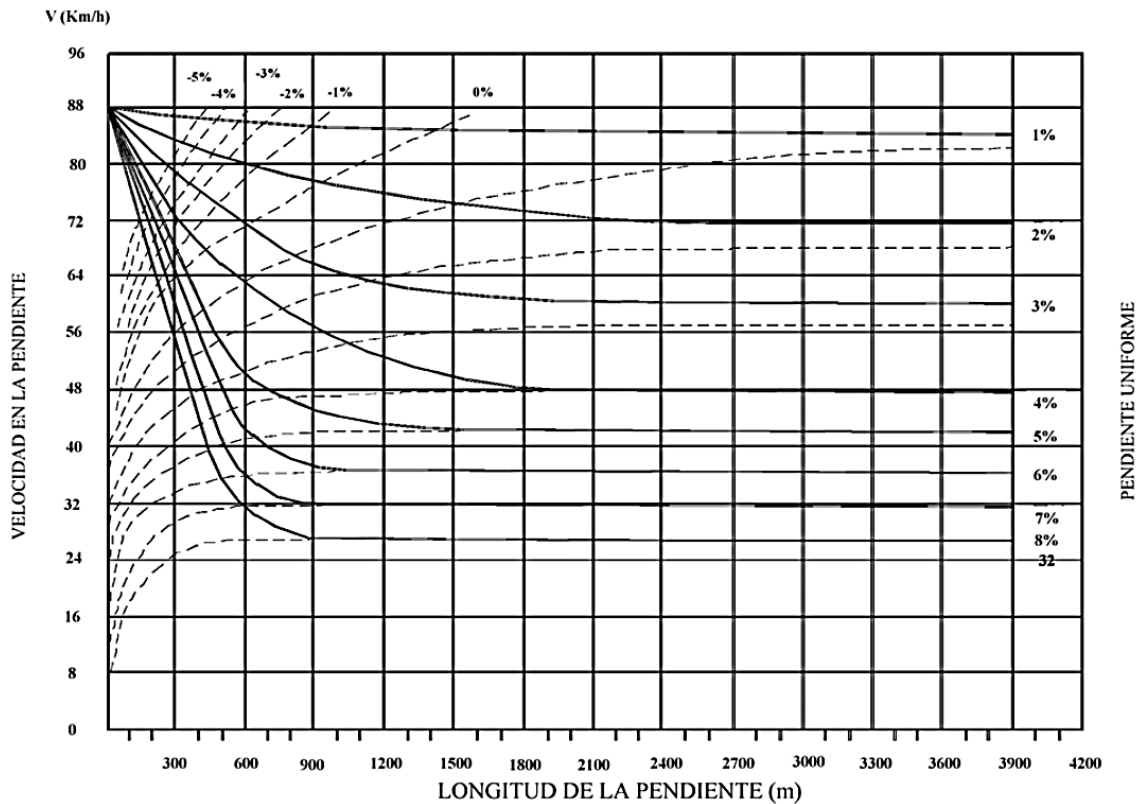
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.6.2.2 Pendiente mínima.

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales.

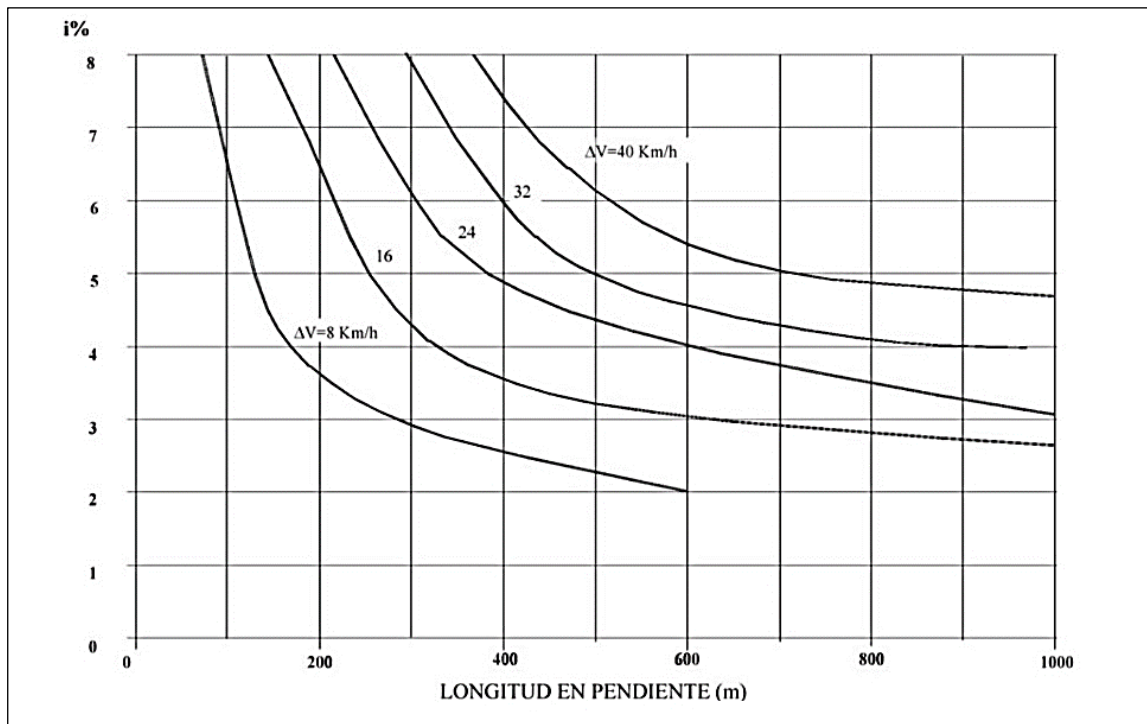
2.6.2.3 Longitud en pendiente.

Ilustración 29: Velocidad de operación Vs longitud en pendiente



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 30: Longitud crítica en pendiente



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

En la ilustración 29 se muestra la caída de velocidad para un camión tipo Semitrailer con acoplado cargando. Se considera que la rasante de aproximación a la pendiente es prácticamente horizontal y la velocidad al comienzo de la pendiente es de 88 km/h. la zona horizontal de las curvas del gráfico indica la velocidad de régimen del camión, la que no puede ser superada en tanto no disminuya la pendiente

En la ilustración 30 se ilustra el concepto de longitud crítica en pendiente, es decir, la combinación de magnitud y la longitud de pendiente que causa un descenso en la velocidad de operación del camión en “x” km/h.

La AASHTO recomienda en casos normales a no superar los 15 km/h de caída de velocidad para camiones en pendiente. Para las condiciones imperantes en el país parecería deseable elevar dicho valor a 24 km/h en túneles y 40 km/h en campo abierto.

En la tabla 29 se ilustra la longitud crítica en pendiente para una velocidad de entrada del orden de 88 km/h y un ΔV del orden de 24 y 40 km/h.

Tabla 29: Longitud critica en pendiente

i %	Longitud Critica (m)	
	$\Delta V < 24$ km/h para todo L	$\Delta V < 40$ km/h para todo L
3	1100	----
4	590	1800
5	380	700
6	310	510
7	260	420
8	210	360

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.6.3 Enlace de rasante.

El entre los tramos rectos en el alineamiento vertical será a través de curvas verticales según las condiciones topográficas

2.6.3.1 Curvas verticales.

El Angulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión

$$\theta \text{ radianes} = (i_1 - i_2)$$

Es decir, θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresión en m/m. las pendientes deberán considerarse con su signo, según la definición:

+Pendiente de subida según el avance de Dm

-Pendiente de bajada según el avance de Dm

Toda vez que la deflexión es igual o mayor que 0.5 % = 0.005 m/m se deberá proyectar una curva vertical para enlazar la rasante. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible por el usuario.

La curva a utilizar en el enlace de la rasante será una parábola de segundo grado, que se caracteriza por presentar una variación constante de la tangente a lo largo del desarrollo, además de permitir una serie de simplificaciones en sus relaciones geométricas, que la hacen muy práctica para el cálculo y replanteo.

La parábola y la curva circular son muy semejantes, tanto así que el cálculo teórico de la curva de enlace requiere por conceptos la visibilidad se hace en base a la curva circular, en tanto que el proyecto y replanteo se ejecuta en base a la parábola.

El desarrollo de la curva vertical está dado por:

$$Lv = R * \theta = R * (|i_1 - i_2|)$$

Donde:

i_1, i_2 = Expresados en m/m.

Adoptando la nomenclatura de correspondiente a la parábola de segundo grado, el radio R pasa a llamarse “K” que corresponde al parámetro de esta curva.

$$Lv = K * \theta$$

El desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

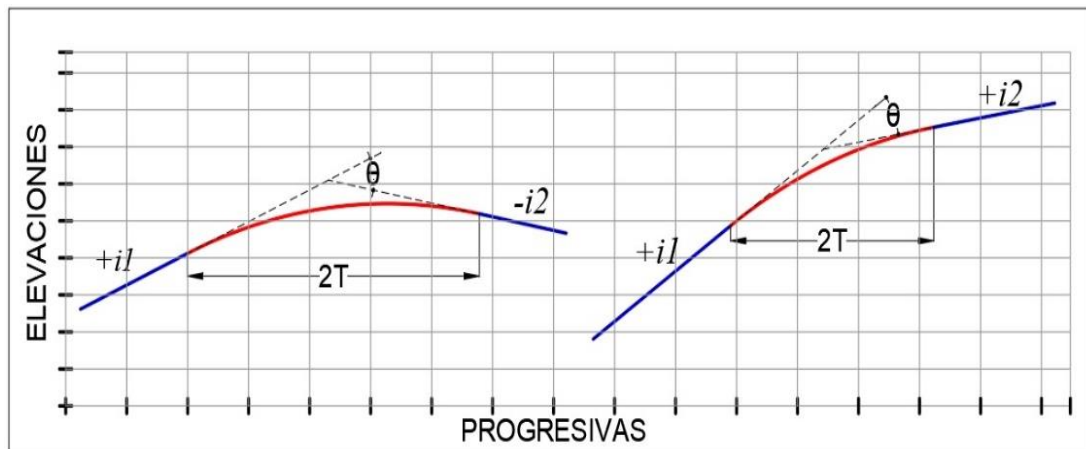
$$Lv = 2 * T$$

Siendo $2 * T$ la proyección horizontal de las tangentes de la curva de enlace.

En definitiva, para todos los cálculos y replanteo

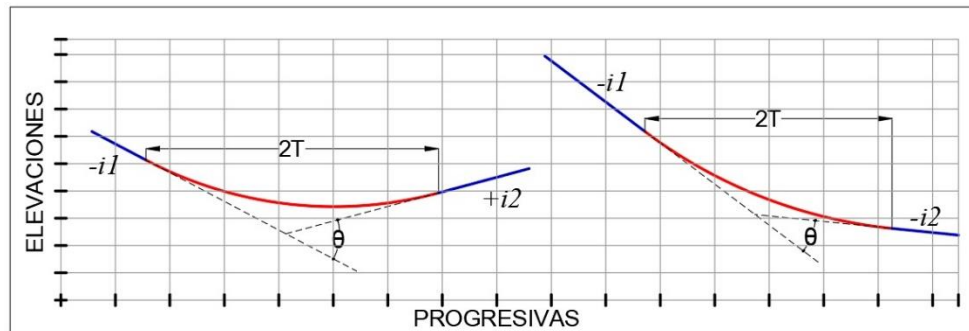
$$2 * T = K * \theta$$

Ilustración 31: Curvas verticales convexas



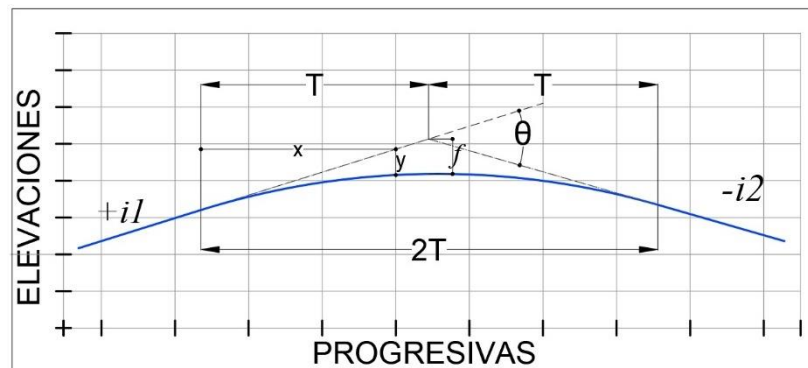
Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 32: Curvas verticales cóncavas



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 33: Elementos de la curva vertical



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.6.3.2 Criterios de diseño para la curva vertical.

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la visibilidad de frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

1. $Dv > 2 * T$
2. $Dv < 2 * T$

Se considera el caso 2 ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros.

2.6.3.3 Parámetro mínimo por visibilidad de frenado.

2.6.3.3.1 Curvas verticales convexas.

Se considera la distancia de frenado un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril.

El parámetro queda dado por:

$$Kv = \frac{Df^2}{2 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

Kv= Parámetro curva vertical Convexa (m).

Df= Distancia de frenado f(V*) m.

h₁= Altura de los ojos del conductor =1.10 m.

h₂= Altura del obstáculo fijo = 0.20 m.

$$Kv = \frac{Df^2}{4.48}$$

2.6.3.3.2 Curvas verticales cóncavas.

Se considera la distancia de frenado nocturno sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona de eliminación por los faros del vehículo

El parámetro queda dado por:

$$Kc = \frac{Df^2}{2 * (h + Df * \text{sen } \beta)}$$

Donde:

Kc= Parámetro de la curva vertical Cóncava (m).

Df= Distancia de frenado f(Vp) (m). “se considera que en la noche los usuarios no superar la Vp”.

h= Altura de los focos del vehículo = 0.60 m.

β= Angulo de abertura del haz luminoso respecto de su eje = 1°.

$$Kc = \frac{Df^2}{(1.2 + 0.035Df)}$$

Para velocidades de 50 km/h y menores de la tabla se han incrementado respecto de las lo valores teóricos dados por las expresiones de cálculo, ello con el objeto de no sobre pasar las aceleraciones radiales den la vertical, máximas recomendables que se experimenten los usuarios.

Tabla 30: Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de frenado

Velocidad de proyecto	Curvas convexas Kv			Curvas cóncavas Kc
	V*=Vp	V*=Vp+5	V*=Vp+10	Vp
km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Casos especiales

Zonas con iluminación artificial

En trazados suburbanos en que se cuenta con iluminación artificial adecuada, la condición de visibilidad de frenado nocturno podrá ser remplazada por la condición de comodidad.

$$K_{ci} = \frac{V^2}{3.89}$$

Tabla 31: Parámetros mínimos para curvas cóncavas en zonas con iluminación artificial

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Kci	250	400	650	950	1300	1700	2100	2600	3200	3700

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Curvas verticales cóncavas bajo estructuras

Esta situación corresponde al caso en que la carretera se cruza en el paso inferior con otra vía y los conductores de camiones o buces situados del orden de 2.5 m sobre la rasante, puede tener obstruida su línea de visión por la estructura misma.

$$K_{ce} = \frac{D_v^2}{8 * c - 4 * (h_3 + h_4)}$$

K_{ce} = Parámetro mínimo para curva vertical cóncava bajo estructuras.

D_v = Distancia de visibilidad.

c = Luz libre entre el punto más bajo de la estructura y la rasante, considerando que la curva vertical tiene su vértice bajo ese punto 5.5 m.

h_3 = Altura de los ojos del conductor del camión = 2.5 m.

h_4 = Altura de las luces traseras de un vehículo o parte más baja perceptible de un vehículo que viene en sentido contrario = 0.45 m.

2.6.3.4 Longitud mínima de curvas verticales.

La longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

$$2 * T \geq |V_p(\text{km/h})|$$

Es decir, el desarrollo mínimo de la curva vertical será el correspondiente al número de metros que representa la velocidad de proyecto.

En caso en que la combinación parámetro mínimo ángulo de deflexión θ no cumpla con esta condición de desarrollo mínimo, se determinara el parámetro mínimo admisible a partir de:

$$K = \frac{2 * T_{\text{mínimo}}}{\theta} = \frac{V_p}{\theta}$$

2.6.3.5 Parámetro mínimo por visibilidad de adelantamiento.

En este caso, a considerar en caminos bidireccionales, tienen relevancia las curvas verticales convexas.

$$K_a = \frac{D_a^2}{2 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5})^2}$$

K= Parámetro Mínimo para visibilidad de adelantamiento (m)

Da= Distancia de adelantamiento f(V)m

h₁= Altura de los ojos del conductor = 1.10 m

h₅= Altura del vehículo en sentido contrario = 1.20 m

$$K_a = \frac{D_a^2}{9.2}$$

Tabla 32: Parámetro de curvas verticales convexas para la visibilidad de adelantamiento

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Kci	3500	630	980	14900	21000	27200	33900	39100	45900

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.7 Secciones transversales.

Las secciones transversales de una carretera o camino describen las características geométricas de estas, según el plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dichas secciones transversales varían de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituye, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

En la tabla 37 se presenta el resumen de los anchos de plataforma a nivel de la rasante.

2.7.1 La plataforma.

Se llama plataforma a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas y los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su cantero central, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de toso los anchos de sus elementos constitutivos

La plataforma puede contener algunos elementos auxiliares, tales como barreras de seguridad, soleras, iluminación o señalización.

2.7.1.1 La(s) calzada(s).

Una calzada es una banda de material y geoméricamente definida de tal modo que su superficie puede soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido. Toda nueva carretera de 4 o más carriles, con calzada unidireccional en plataforma única, deberá contar con un espacio libre entre los bordes interiores de los pavimentos de cada calzada, denominada “cantero central”

Las calzadas pueden ser pavimentadas o no, si son pavimentadas quedaran comprendidas entre las bermas.

2.7.1.1.1 Ancho de calzada y plataforma.

La selección de la sección transversal tipo de una carretera o camino dentro de la definida en la tabla 37, dependerá de la función asignada al proyecto, del tipo de terreno en que esta se emplaza y del estudio de tránsito que permita anticipar la evolución del tránsito promedio diario anual (TPDA) y del volumen horario de diseño (VHA) a lo largo del tiempo, y en particular al horizonte de diseño. Las características geométricas del trazado propuesto permitan calcular la capacidad de la vía, los volúmenes y niveles de servicio que, contrastados con las predicciones del volumen de demanda a lo largo del tiempo, permita verificar si se cumple las funciones asignadas al proyecto.

2.7.1.1.2 Bombeos.

Las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que dependa del tipo de superficie de rodadura y de la intensidad de la lluvia de 1 hora de duración con periodo de retorno de 10 años (I^1_{10}) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

La tabla 33 especifica estos valores en que algunos casos en rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando con su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.

Tabla 33: Bombeos de la calzada

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	$i \leq 15^{(1)}$ mm/h	$i > 15^{(1)}$ mm/h
Pav. de hormigón o asfalto	2.0	2.5
Tratamiento superficial	3.0 ⁽²⁾	3.5
Tierra, grava, chancada	3.0 - 3.5 ⁽²⁾	3.5 - 4.0

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

(1) determinar mediante estudio hidrológico

(2) En climas definitivamente desérticos, se puede rebajar los bombeos hasta un valor de 2.5 %

2.7.1.2 Las bermas.

Las bermas son franjas que franquean el pavimento de la(s) calzada(s) ellas pueden ser construidas con el pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

La berma constituirá una prolongación de la capa de rodadura del pavimento, la que deberá tener un espesor mínimo de 0.05 m el que se mantendrá en la berma.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas:

- Proporcionan protección al pavimento y sus capas inferiores, que por otro modo se vería afectadas por la erosión y la inestabilidad.
- Permite detenciones ocasionales.
- Aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía.
- Ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

2.7.1.2.1 Ancho de bermas.

El ancho normal en caminos locales con $V_p = 40$ km/h es de 0.5 m, el que en conjunto con el SAP proveen una plataforma de 0.8m

A medida que la velocidad y los volúmenes de diseño crean, también deberán hacerlo las bermas exteriores hasta contemplar un ancho máximo de 2.5 m, que permite la detención

en caso de emergencia de los vehículos sin afectar el tránsito de paso. Los anchos normales se dan la tabla 37.

2.7.1.2.2 Pendiente transversal de la berma.

En caminos y carreteras con calzadas pavimentada, ya sea con hormigón, asfalto o tratamiento superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada.

2.7.1.3 Sobreanchos de plataforma “SAP”.

2.7.1.3.1 Anchos de SAP.

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0.5m que permite confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor de 0.5 m, el ancho adicional adyacente a la berma deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las bermas.

En plataformas en corte, si la cuenta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal. Si la plataforma en terraplén consulta la instalación de barreras de seguridad, el ancho mínimo del SAP será de 0.8m con el objeto de anclar el poste a 0.2 m del extremo exterior del SAP y no invadir la berma con la barrera.

2.7.1.3.2 Pendiente transversal del SAP.

En la tabla 34 se establece la pendiente transversal del SAP según las distintas situaciones posibles, tanto para calzadas bidireccionales como para unidireccionales.

Tabla 34: Pendiente transversal del SAP (is).

Siempre	Pendiente transversal del SAP
En recta	Is siempre = -10%
Zona transición peralte	Para $b \leq e \leq 0.0$; is = -10%
Extremo alto de la plataforma	Para $0.0 < e \leq 3\%$; is = $-(10-2e)\%$
	Para $e > 3\%$; is = -4%
Extremo bajo de la plataforma	Para todo e; is = -10%
El is del SAP interior de las calzadas unidireccionales será -8%, salvo para $e > -4\%$ en que is = -4%	

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.7.1.4 Cantero central.

El cantero central entendido como el espacio libre existente entre los bordes interiores de los pavimentos de dos calzadas unidireccionales

El cantero central debe construirse en primer lugar por razones de seguridad, al permitir, ya sea por su ancho o por los dispositivos que en ella se instale, controlar la invasión premeditada o accidental de los carriles de la calzada de tránsito en sentido contrario.

2.7.1.4.1 Ancho del cantero central según categoría de la ruta.

El ancho mínimo deseable del cantero central en carreteras con $V_p \geq 100$ km/h será de 6.0 m. en consecuencia si una carretera se constituye inicialmente de 4 carriles; pero con previsión para poder construir a futuro un carril adicional por calzada, el cantero central deberá proyectarse inicialmente de 13.0 m de ancho.

En la tabla 35 se resumen los anchos de cantero central.

Tabla 35: Anchos de cantero central (ACC/m)

Categoría	Vp (km/h)	Inicial 4 pistas ampliable a 6	Final 6 pistas	Final = inicial 4 pistas
Autopista	120	13.0	6	6
	100	13.0	6	6
	80	11.0	4	4
Autorrutas y primarios	100	13.0	6	6
	90	12.0	5	5
	80	10.0	3	3
Colectores	80	10.0	3	3
	70	9.0	2	2
	60	9.0	2	2

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

2.7.2 La sección transversal de la infraestructura.

Se incluirá en esta sección aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principalmente: terraplenes y cortes, determinando la geometría de estos y posteriormente sus volúmenes.

Estos elementos son: la plataforma de la subrasante, taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

El proyectista deberá acudir a bibliografía específicas para obtener criterios y valores relativos a sus dimensionamientos prácticos.

2.7.2.1 Elementos de la infraestructura para la sección en terraplén.

2.7.2.1.1 Taludes de terraplén desde el punto de vista de su estabilidad.

Cuando una carretera o camino se emplaza en terraplén, los materiales de estos provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los terraplenes.

El diseño de taludes de terraplén, desde el punto de vista estructural, se encuentra en función del tipo de material que lo constituya y de los suelos sobre los que se está fundando.

Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con altura inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1.5 (H: V).

Los taludes de terraplén de alturas mayores de 15 m deberán ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación.

2.7.2.1.2 Taludes de terraplén desde el punto de vista de la seguridad vial.

Taludes de terraplén con inclinaciones comprendidas entre 1:3 y 1:4 se consideran “transitables”. Es decir, un vehículo que se salga de la plataforma puede en la mayoría de los casos descender por el talud sin volcarse.

Taludes de terraplén con inclinaciones menores que 1:4 (V:H) se consideran “recuperables”, es decir el conductor tiene la posibilidad de redirigir el vehículo hacia la plataforma del camino. Por ejemplo 1:6 (V:H) sin embargo el tendido de los taludes de los terraplenes tiene un costo importante por el mayor movimiento de tierra requerido.

Por otra parte, la severidad de los accidentes ocurridos en terraplenes con taludes no transitables (1:1.5 V:H), que no cuenten con barreras de contención, aumenta con la altura H del terraplén.

En consecuencia, el diseño de los taludes de terraplén por conceptos de seguridad, en función de los factores mencionados considerara dos alternativas: taludes 1:1.5 y taludes 1:3 (V:H); los que deberán emplearse con o sin barreras de contención según sea el TPDA de la ruta y de la altura H del terraplén.

2.7.2.2 Elementos de la infraestructura para sección en corte.

2.7.2.2.1 Cuneta lateral en corte.

Cuando la vía discurre en corte, las aguas que sobre ella cae, o la que llegan a ella superficial o subterráneamente, no pueden ser eliminadas sino mediante su conducción hacia zonas donde ello es posible.

Esta condición debe hacerse con la mayor rapidez, para evitar que las aguas fluyan sobre la plataforma o que se infiltren dañando la estructura. Para ello se recurre a las cunetas, los sub-drenes y a los colectores de aguas de lluvia.

Los elementos constitutivos de una cuneta con su talud interior y su fondo, ya incluidos en la plataforma de subrasante, y su talud exterior. Este último por lo general se confunde con el de corte, pero se limita con el propósito de completar la definición de la cuneta, a una altura que resulta de proyectar horizontalmente el borde exterior del SAP sobre dicho talud.

Talud interior de cunetas

El talud o pared interior de la cuneta se inicia en el punto extremo de la plataforma o borde exterior de SAP si la cuneta no tiene revestimiento y se desarrolla bajando con una cierta inclinación, hasta interceptar la plataforma de subrasante.

La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad de proyecto de la carretera o camino estos valores se tabula en la tabla 36.

Tabla 36: Inclinaciones máximas del talud interior de la cuneta

Vp (km/h)	pic m/m	V:H 1: nci
≤ 70	0.5	1: 2
80 - 90	0.4	1: 2.5
100	0.33	1: 3
120	0.25	1: 4

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Profundidad de la cuneta

La profundidad o altura interior de la cuneta (hc.) se mide verticalmente, desde el extremo de la plataforma hasta el punto de más bajo de su fondo.

2.7.2.2.2 Taludes de corte.

La inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados

Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado o bien presentar variaciones en un mismo perfil.

Por ello es importante el tema el estudio de los suelos, para dar la inclinación correcta a los cortes realizados en el tramo y poder evitar deslizamientos o desprendimientos de material sobre la vía.

2.7.2.2.3 Estructuras de sostenimiento de tierras.

Cuando el espacio disponible para la ejecución de las obras de tierra no es suficiente para conferir a los taludes de inclinación deseable u obligada, puede ser necesario la construcción de obras especiales que permitan contener los materiales que sin ellos sería inestables.

El proyectista deberá tener en cuenta, para estos casos, toda la gama de posible de dispositivos, que reúne a los muros gravitacionales, en su gran variedad de formas y materiales constitutivos, los gaviones, las tablestacas, los muros de tierra mecánicamente estabilizada y otros.

2.7.3 Obras de protección de taludes.

Los taludes, tanto de terraplén como de corte, están expuestos a los agentes erosivos naturales. De estos el más activo y frecuente es el agua.

Entre los elementos destinados a controlar y encausar el flujo de las aguas para evitar daños en los taludes se menciona los bordillos, cunetas de pie de talud y cunetas de banquetas.

2.7.3.1 Los bordillos.

Los bordillos son elementos que presentan una dimensión vertical y que pueden ser colocados en algún punto de la sección transversal de la plataforma, con propósitos varios. Los bordillos deben ser dispuestos en el SAP firmemente adheridos a la berma y cuidadosamente sellada la junta con esta última.

2.7.3.2 Las cunetas de pie de talud.

Se denomina “cunetas de pie de talud” a los canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurre superficialmente hacia ellos, ya sea desde la carretera o desde el terreno adyacente.

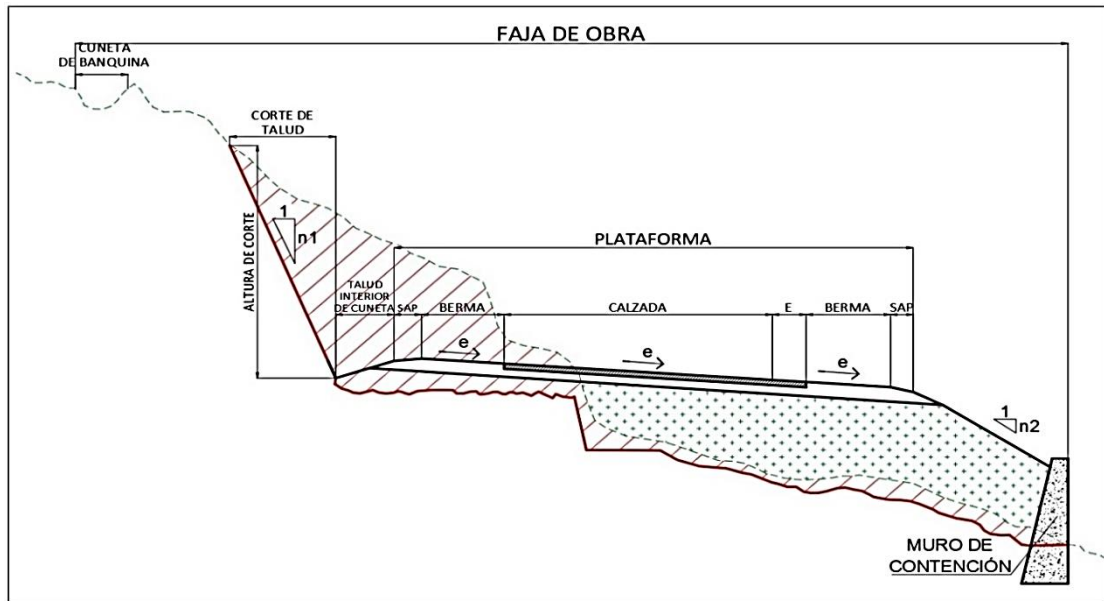
Las secciones de las cunetas de pie de talud serán preferentemente semicirculares, o bien trapezoidales.

2.7.3.3 Las cunetas de banquina.

Las cunetas de banquetas con canales que se dispone de sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar llegada de agua a veces en cantidades importantes y casi siempre con arrastres, a los taludes de corte de una carretera, provenientes de superficies adyacentes que vierten hacia ellas.

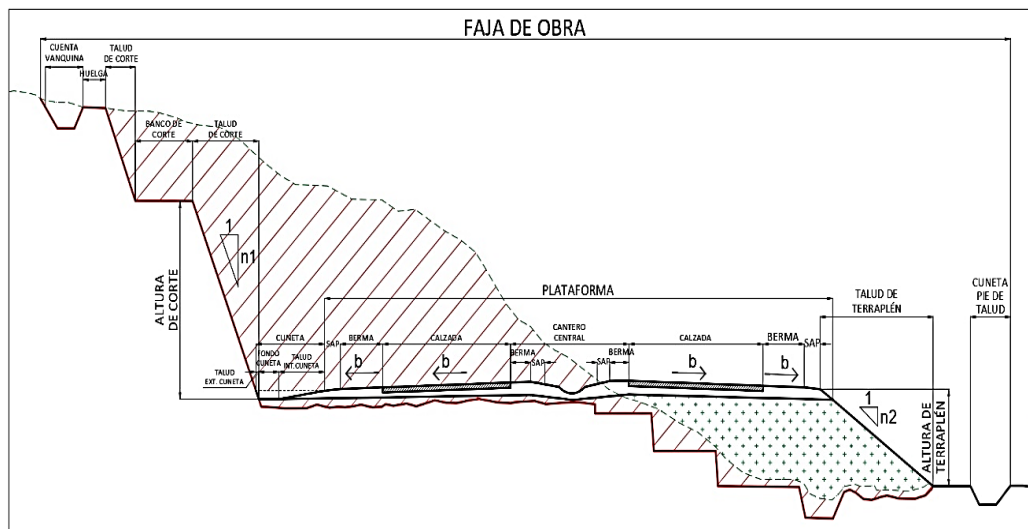
Dependiendo de sus pendientes, las cunetas de banquina y sus bajadas pueden requerir revestimientos, e incluso disipadores de energía. Los efectos de la descarga sobre la propiedad y el dimensionamiento de las obras deben ser objeto de estudios específicos para cada caso.

Ilustración 34: Perfil transversal de una carretera bidireccional en curva



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Ilustración 35: Perfil transversal de carretera unidireccional en una recta



Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

Tabla 37: Cuadro resumen de los anchos de plataforma

Numero de Calzadas y categoría		Velocidad Proyecto	Ancho Pistas "a" (m) (1)	Ancho bermas		Ancho Sap (3)		Ancho cantero central -M (m)			Ancho total de plataforma a nivel de rasante ATP $a+2be+Se+M$ final				
				"b" Interior (m)	"be" exterior (m)	"Si" Interior	"Se" Exterior (m)	Inicial 4 pistas ampliable	Final 6 pistas	Final - Inicial 4 pistas	6 pistas y 4 ampliable	4 pistas	2 pistas		
Calzadas unidireccionales	Autopistas	120	3,5	1,2	2,5	0,5-0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-		
		100	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-		
		80	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,5	-		
	Primario y Autorruta	100	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-		
		90	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-		
		80	3,5	1,0	2,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	-		
	Colector	80	3,5	1,0	2,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	-		
		70	3,5	0,6-0,7	1,5	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	9,0	2,0	2,0 (4)	27	20	-		
		60	3,5	0,6-0,7	1,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	9,0	2,0	2,0 (4)	26	19	-		
Calzadas bidireccionales	Primario			100-90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	14,0	
				80	3,5	-	2,0	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	12,0
	Colector			80	3,5	-	1,5	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	11,0
				70	3,5	-	1,0-1,5 (2)	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	10-11,0
	Local			60	3,0-3,5	-	0,5-1,0 (2)	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	8,0-10,0
				50	3,0-3,5	-	0,5-1,0 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0-10,0
	Desarrollo			40	3,0	-	0,0-0,5 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0-8,0
				30	2,0-3,0	-	0,0-0,5 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	-

(1) Pistas de menos de 3,5 m debería ser autorizadas expresamente por la Administradora Boliviana de Carreteras

(2) El ancho de las Bermas de locales y de desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento

(3) La tabla especifica anchos de SAP en terraplén caso sin berma de seguridad SAP=0,5, con berma SAP= 0,8 m

(4) Para el ancho final de carretera central de 3 y 2 m, SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una berma rígida de hormigón con anchos en la base de Tipo F (0,56 m o 0,82 m)

(4) Ancho total de plataforma en terraplén con SAP mínimo = 0,5 m. Para corte cerrado o perfil Modo agregar ancho cunetas y corregir ancho del SAP exterior, Si cuneta es revestida $Se=0,0$ En unidireccional (bi) y "b" están comprendidos en el ancho de la cartera central

Fuente: Manual de diseño geométrico, ABC

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

3.1 Ubicación del proyecto.

El tramo en estudio cuenta con diferentes fases, en su primera fase cuenta con una longitud de 3 km, desde la rotonda de los libertadores en Yacuiba hasta altura de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho regional de Yacuiba y en su segunda fase cuenta con 8 km hasta la comunidad de Campo Pajoso.

El área de estudio se encuentra localizada concretamente en la provincia Gran Chaco entre las comunidades de Yacuiba y Campo Pajoso, las coordenadas del tramo en estudio son:

Tabla 38: Coordenadas UTM de proyecto

Punto	Norte	Este	Cota (m.s.n.m)
Yacuiba	7567630	430484	644.82
Campo Pajoso	7577720	434503	621.06

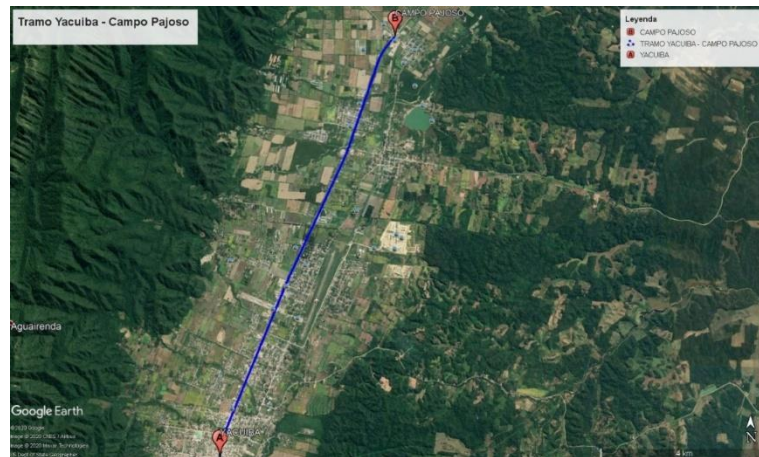
Tabla 39: Coordenadas geográficas de proyecto

Punto	Latitud	Longitud
Yacuiba	21°59.669´ S	63°40.106´ O
Campo Pajoso	21°54.209´ S	63°38.046´ O

Ilustración 36: Mapa geográfico de la zona de proyecto



Ilustración 37: Imagen satelital de la zona de proyecto



3.2 Estudio topográfico.

El tramo en estudio tiene una longitud 11.180 km aproximadamente y se desarrolla sobre una topografía predominante llana, con alturas oscilante entre 645 m.s.n.m. a los 620 m.s.n.m. por su morfología presenta condiciones heterogéneas de clima, caracterizadas por microclimas definidos por sus precipitaciones pluviales, las cuales se dan entre los meses de noviembre y marzo, en el tramo la temperatura media anual se encuentra alrededor de los 23.4 °C como promedio de una máxima de 35.5 °C y una mínima de 16.2 °C. el tramo pertenece a la red fundamenta, a la ruta 9 exactamente.

Ilustración 38: Mapa de la red fundamental de Tarija



La topografía del tramo fue proporcionada por parte de la EBC, “Empresa Estratégica Boliviana de Construcción” como manera de colaboración. De esta forma que se considera la información topográfica que paso por un ajuste de datos y es óptima para garantizar la buena ejecución del diseño geométrico.

3.3 Parámetros de diseño geométrico del tramo.

Según la clasificación establecidas por la ABC para el criterio de diseño, se tiene: caminos, carreteras las cuales tienen categorías, autopistas, autorrutas, primarias para carreteras y colectores, locales, desarrollo para camino.

Autorrutas son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso de larga distancia, pero en muchos subtramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí con velocidades comprendidas entre 80 para terrenos montañosos, 90 km/h para terrenos ondulados y 100 km/h para terrenos llanos. (Administradora boliviana de carreteras, 2008).

Tabla 40: Clasificación según tráfico promedio diario anual

Categoría	Volúmenes típicos de tránsito al año inicial TPDA
Autopista	>10 000 UD
Autorrutas	>5 000 UD
Primarios	>1500 BD >3000 UD
Colectores	>500 BD
Locales	<500 variable según el tipo de actividad
Desarrollo	

Fuente ABC

El tramo cuenta con un tráfico promedio diario anual de 7900 Veh/día según el estudio de tráfico realizado por el tesista Dixon Orellana Cuenca en el 2017. Según la proyección para el 2021 se estima en 8500 Veh/día. Según el reporte de conteo vehicular realizado por la ABC, se tiene 9281 Veh/día, realizada en fechas 20/08/2021.

Con estos datos se estable la categoría de la vía como: Autorruta, con una velocidad de 80 km/h por qué parte de la vía está emplazada en una zona urbana, sin controles de accesos a la misma.

Por lo cual los parámetros seleccionados para el tramo en estudio según el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC, se presenta en la siguiente tabla, en la cual se da un resumen de los parámetros mínimos recomendados se la categoría Autorruta.

Tabla 41: Parámetros mínimos de diseño geométrico

Parámetros de diseño geométricos	
Tramo en estudio	= Doble vía Yacuiba - Campo Pajoso
Longitud de tramo	= 11.180 Km = 11 180 m
Tipo de terreno	= Llano
Clasificación	= Carretera
Categoría de la vía	= Autorruta

Velocidades en el diseño				
Velocidad de proyecto		V_p	= 80 Km/h	
Velocidad específica		V_e	= 80.1 Km/h	
Velocidad percentil 85 %		$V_{85\%}$	$L_r < 600$	= 90 Km/h
			$L_r > 600$	= 100 Km/h
Velocidad v^*	En recta	V^*	$L_r < 600$	= 85 Km/h
			$L_r > 600$	= 90 Km/h
Distancias de visibilidad y maniobras				
Distancia mínima de frenado para $i = 0\%$		D_f	= 115 m	
Distancia mínima de adelantamiento		D_a	= 500 m	
% min. de visibilidad en la vía para adelantar			= 30 %	
Despeje lateral para R.min		A máx.	= 8.26 m	

Trazado en planta		
Longitud máxima en recta	$L_{max.r}$	= 1600 m
Distancia mín. Entre curvas de distinto sentido	$L_{min.s}$	= 112 m
Distancia mín. Entre curvas del mismo sentido	$L_{min.c}$	= 110 m

Curvas horizontales			
Radio mínimo		Rmin =	250 m
Desarrollo mínimo de curva circular	Dc	$\Omega=9^\circ$ =	35 m
		$\Omega=20^\circ$ =	78 m
Peralte máximo		e =	8 %
Eje de giro del peralte		=	Eje de simetría
Longitud de desarrollo de peralte - Rmin	Normal	L =	56 m
	Mínimo	L =	31.1 m
% De peralte en recta		% =	70 %
% De peralte en la espiral de transición		% =	100 %
Vehículo tipo		=	Semi tráiler 3
Sobrecancho de curvas para Rmin		E =	1 m
Desarrollo mín. del sobre ancho		=	30 m
Elección del parámetro a para curvas con transición para Rmin			
Criterio A (guiado óptico)		A =	83.3 <A< 250
Criterio B (adicional al guiado óptico)		A =	117
Criterio C (desarrollo del peralte)		A =	141.4
Criterio D1 (aceleración transversal no compensada)		A =	87
Criterio D2 (aceleración transversal no compensada)		A =	132

Trazado altimétrico			
Pendiente por condición del terreno		=	± 3 %
Pendiente máxima admisible		=	± 6 %
Cota más alta de la ruta del tramo		=	658.92 msnm
Pendiente máx. según m.s.n.m.		=	6 %
Pendiente mínima		=	0.5 %
Longitud crítica para la pendiente máxima	ΔV 24 km/h	=	310 m
	ΔV 40 km/h	=	510 m
Visibilidad para frenado			
Parámetro mín. de curva vertical convexa	Kv	Vp =	3000 m
		Vp+5 =	3550 m
		Vp+10 =	4400 m
Parámetro mín. de curva vertical cóncava		Kc =	2600

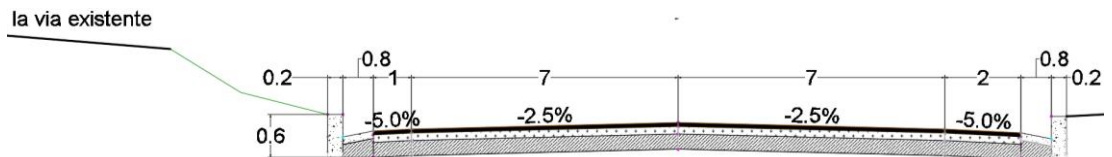
Parámetro mín. de zonas con iluminación	Kci =	1700
Parámetro mín. bajo estructura para Df	Kce =	418
Longitud mín. de curvas verticales	L.min =	80 m
Visibilidad para adelantamiento		
Parámetro mín. de curvas verticales	Ka =	27200

Sección transversal		
Tipo de sección transversal	=	Unidireccional
Ancho de calzada	=	3.5 m
Número de carriles por carril	=	2 #
Tipo de superficie de rodadura	=	Pavimento flexible
Bombeo de calzada	=	-2.5 %
Ancho de berma	=	2 m
Bombeo de berma	=	-5 %
Ancho de SAP en relleno	=	1 m
Bombeo o pendiente del SAP	=	10 %

Sección tipo

Por lo cual se contará con la sección tipo para la doble vía Yacuiba campo pajoso con las siguientes dimensiones:

Ilustración 39: Sección tipo doble vía Yacuiba Campo Pajoso



3.4 Ubicación de obras de arte menor y mayor

En la vía existente se cuenta con 20 alcantarillas de diferentes dimensiones y tipos, que van desde circular simples a dobles o triples, también con alcantarillas tipo cajón. A la vez se cuenta con 5 puentes de diferentes longitudes. Todas las obras de drenaje existentes fueron consideradas y tomadas como puntos obligados para el diseño geométrico.

Ilustración 40: Alcantarilla tipo cajón



Ilustración 41: Alcantarilla tipo circulares simple y doble



Ilustración 42: Alcantarilla circular triple



Ilustración 43: Dimensiones de Alcantarilla circular

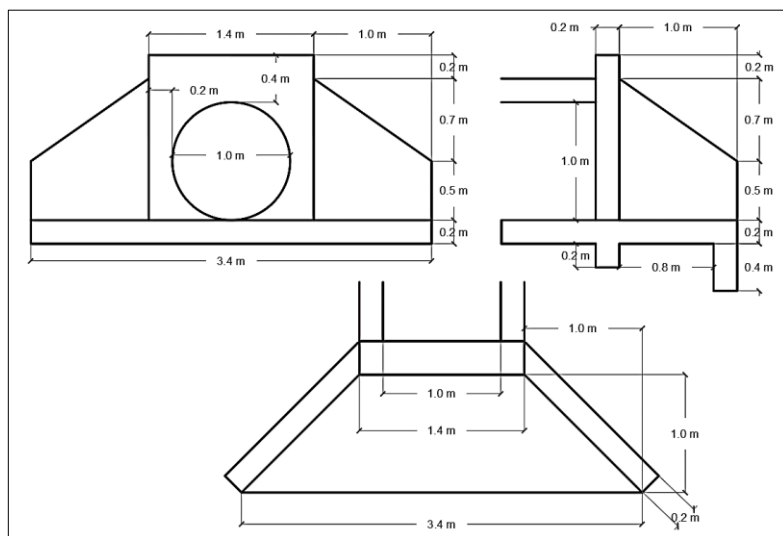


Ilustración 44: Dimensiones de alcantarilla tipo cajón

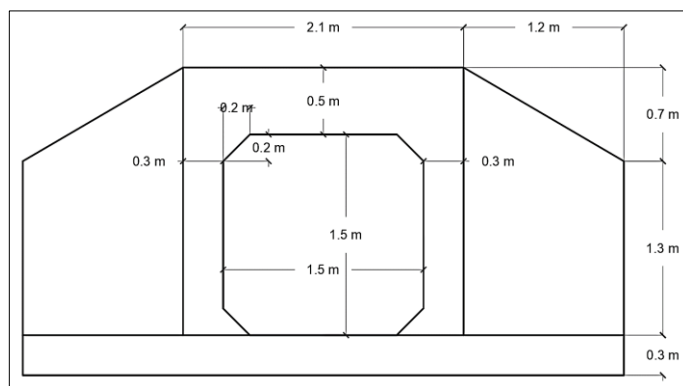


Ilustración 45: Puente sobre la vía



En la siguiente tabla se presentan las alcantarillas que se proyectan respectivamente en cada uno de los ejes del tramo diseñado.

Tabla 42: Ubicación de alcantarillas en el eje 1

Nº	Progresiva	Alcantarilla
1	0+819.41	Alcant. Circular simple
2	1+248.67	Alcant. Circular simple
3	2+119.43	Alcant. Circular doble
4	2+284.35	Alcant. Cajón
5	2+845.05	Alcant. Circular simple
6	3+065.04	Alcant. Circular simple
7	3+489.27	Alcant. Circular simple
8	4+296.96	Alcant. Circular simple
9	4+773.73	Alcant. Circular doble
10	5+196.40	Alcant. Circular doble
11	5+731.18	Alcant. Circular simple
12	6+518.01	Alcant. Circular triple
13	7+233.51	Alcant. Circular simple
14	8+299.53	Alcant. Cajón
15	8+810.45	Alcant. Circular doble
16	9+292.84	Alcant. Circular simple
17	9+832.06	Alcant. Circular simple
18	10+119.45	Alcant. Circular simple
19	10+269.74	Alcant. Cajón
20	10+568.42	Alcant. Circular triple

Tabla 43: Ubicación de alcantarillas en el eje 2

Nº	Progresiva	Alcantarilla
1	0+849.64	Alcant. Circular simple
2	1+265.76	Alcant. Circular simple
3	2+137.43	Alcant. Circular doble
4	2+305.93	Alcant. Cajón
5	2+860.61	Alcant. Circular simple
6	3+119.76	Alcant. Circular simple
7	3+507.87	Alcant. Circular simple
8	4+312.64	Alcant. Circular simple
9	4+794.19	Alcant. Circular doble
10	5+204.05	Alcant. Circular doble
11	6+532.26	Alcant. Circular triple
12	7+694.71	Alcant. Circular simple
13	8+308.65	Alcant. Cajón
14	8+910.10	Alcant. Circular doble
15	9+308.80	Alcant. Circular simple
16	10+130.92	Alcant. Circular simple
17	10+270.10	Alcant. Cajón
18	10+862.34	Alcant. Circular triple

Tabla 44: Ubicación de los puentes en el eje 1

Nº	Progresiva de Inicio	Progresiva de final
1	0+594.00	0+610.00
2	1+723.00	1+753.00
3	3+284.00	3+298.00
4	7+845.00	7+900.00
5	9+083.00	9+114.00

Tabla 45: Ubicación de los puentes en el eje 2

Nº	Progresiva de Inicio	Progresiva de final
1	0+610.00	0+627.00
2	1+740.00	1+772.00
3	3+303.00	3+317.00
4	7+827.00	7+880.00
5	9+098.00	9+128.00

3.5 Comparación de normativa de diseño de carreteras ABC.

El manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC contempla parámetros similares; pero con valores diferentes con AASHTO y otros países, condicionado por la topografía, la orografía y condiciones climáticas de la zona.

La comparación de algunos parámetros de diseño entre ABC con AASHTO y con algunos otros países, tiene como referencia la velocidad de proyecto o velocidad directriz como es conocidas en otros países. Algunas de las diferencias son notorias y otras son similares o hasta iguales con otros países, los parámetros comparados son los siguientes:

3.5.1 Distancia de frenado

Una de las características que más contribuye 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. La trayectoria y velocidad de los vehículos sobre los caminos están sujetas al control de los conductores cuya pericia, entrenamiento, y experiencia son muy variadas. (Ministerio de transporte y comunicaciones de la republica de la Argentina, 2010)

A pesar que las ecuaciones son casi similares, la distancia de frenado se ve afectada por el factor de la ecuación, como el tiempo de reacción + percepción, coeficiente de roce y la pendiente máxima como se observa en la Tabla 41.

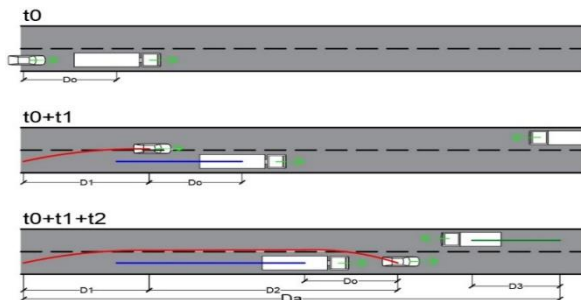
3.5.2 Distancia de adelantamiento

(Policia/Transito, 1978) Artículo 41°. - (Reglas para el adelantamiento) El adelantamiento de un vehículo a otro, estacionado o en movimiento, se hará por el lado izquierdo retomando luego el costado derecho de la vía. Para efectuar esta maniobra el conductor observará las siguientes reglas:

- Comprobará previamente si no se aproxima otro vehículo por detrás o en sentido contrario.
- Observará si dispone de espacio y visibilidad suficiente.
- Anunciará la maniobra, tanto a los vehículos que le preceden como a los que le preceden con el brazo izquierdo extendido horizontalmente hacia afuera o mediante el sistema de cambio de luces y guiñadores.

Artículo 42°. - (Prohibición de adelantamiento) Se prohíbe terminantemente el adelantamiento de un vehículo a otro: en las curvas, bocacalles, cruce de vías, pasos a nivel y con carácter general en los lugares donde el conductor no tenga libre visibilidad y espacio suficiente para efectuar la maniobra con seguridad. Tampoco podrá efectuarse el adelantamiento en los lugares prohibidos por la autoridad mediante la respectiva señalización.

Ilustración 46: Distancia de adelantamiento



La distancia de adelantamiento está en función de un modelo hipotético en el cual interfieren varias variables, entre las cuales está; la velocidad de los vehículos, las acciones, decisiones y experiencia de los conductores que interfieren en las distintas

maniobras ejecutadas, estas diferencias se pueden ver en la Tabla 42. En la gráfica que se muestra la variación de los datos para la distancia de adelantamiento con respecto a la velocidad de proyecto y las diferentes normas.

3.5.3 Radio de curvatura mínimo

De la investigación y experiencia acumulada se establecieron los valores límite del peralte ($e_{máx}$) y demanda de fricción lateral ($f_{máx}$) para diseñar la curva. El uso de estos valores límite establecidos en la fórmula básica permite determinar la curva de radio mínimo de curva para diferentes velocidades directrices. (AASHTO, 2011)

Aunque las fórmulas de cálculo son similares varían en función de Coeficiente de fricción transversal y el peralte máximo, según las normas del país, estos valores de los radios mínimos según la velocidad se pueden observar en la Tabla 43.

3.5.4 Pendiente máxima

Pendiente máxima: es la mayor pendiente que se permite en el proyecto de la carretera. En general, se recomienda de acuerdo con la jerarquía de la carretera; pero se debe usar con tan poca frecuencia como lo permita la configuración orográfica. (Secretaría de comunicaciones y transportes de Mexico, 2018)

La pendiente máxima está en función de la velocidad de proyecto y la respectiva clasificación de la vía, esto se puede observar para las diferentes normativas consultadas en la Tabla 44.

3.5.5 Las curvas verticales

Los tramos consecutivos de rasante, serán enlazados con curvas verticales parabólicas, cuando la diferencia algebraica de sus pendientes sea mayor del 1%, para carreteras pavimentadas y del 2% para las demás. (Ministerio de transporte y comunicaciones del Peru, 2018)

Dichas curvas verticales parabólicas, son definidas por su parámetro de curvatura K , que equivale a la longitud de la curva en el plano horizontal, en metros, para cada 1% de variación en la pendiente, así:

$$k = L/A$$

Donde:

K= Parámetro de curva

L= Longitud de la Curva Verticales

A= Valores Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.

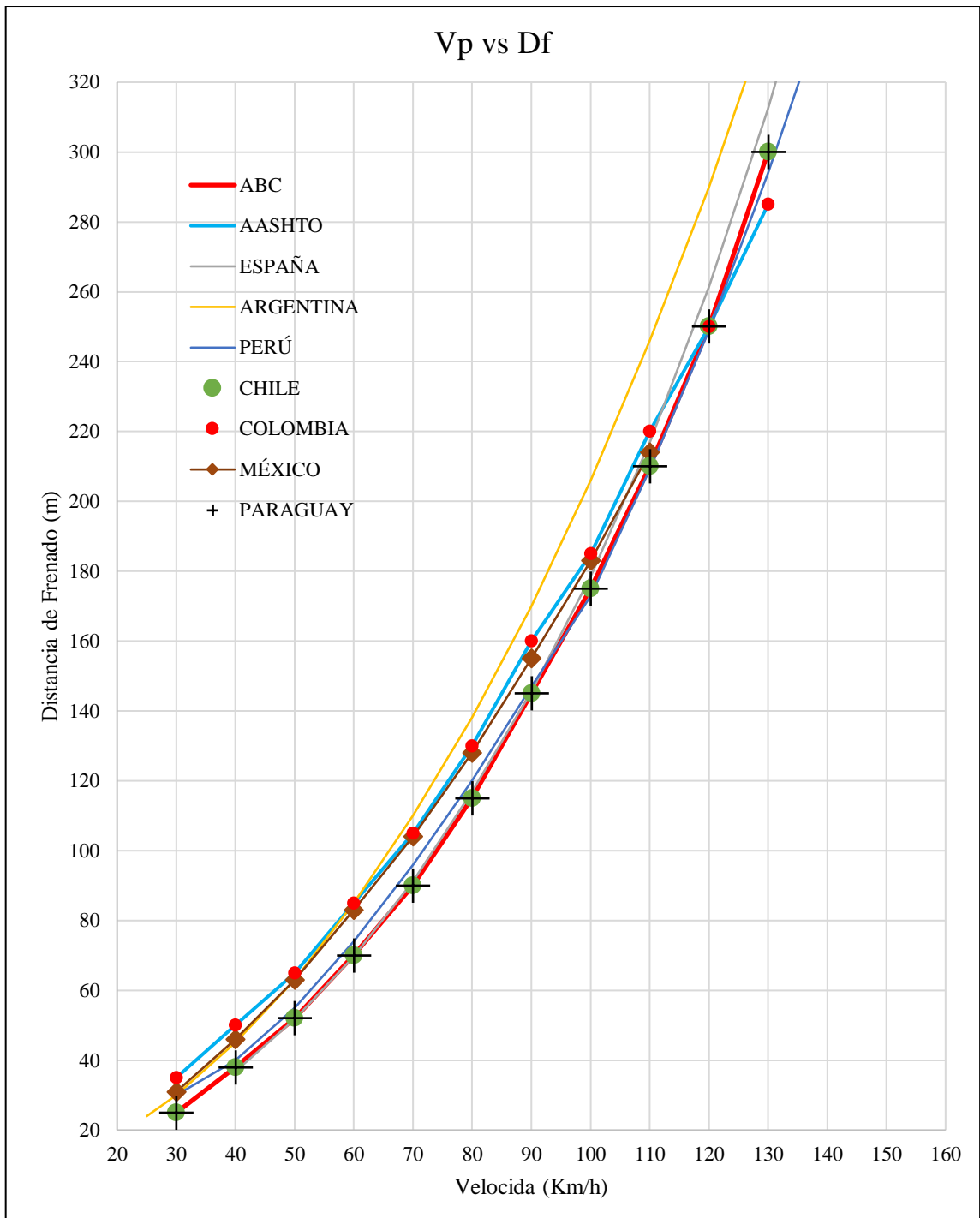
Los parámetros definidos para determinar la longitud de las curvas verticales varían de acuerdo a la normativa el país. Según la distancia de frenado y de adelantamiento.

Siendo para Bolivia, España y Chile el parámetro K el radio de la curva vertical. Los valores de K varia con referencia a los demás países por ello, los valores de los países de Bolivia, España y chile se dividió ente 100 los valores de K dados para para obtener un grafica adecuada para la comparación. Como se puede ver en las Tablas 45 y Tabla 46.

Tabla 46: Comparación de la distancia de frenado

Velocidad	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	Colombia	México	Paraguay
Km/h	$Df = \frac{V \cdot t}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_1 + i)}$	$d_B = 0.039 \frac{V^2}{a}$	$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_1 + i)}$	$DVD = \frac{V}{1,44} + \frac{V^2}{254 \times (f_1 \pm i)}$	$D_p = 0.278V_p + \frac{V^2}{254 \left(\frac{a}{9,81} \pm i \right)}$	$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$	$D_p = 0.278 \times V_e \times t + 0.039 \times \frac{V_e^2}{a}$	$d_f = \frac{\left(\frac{V}{3,6} \right)^2}{2a} + \frac{V}{3,6} t$	$Df = \frac{V \cdot t}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_1 + i)}$
20	-	20	-	-	-	-	20	-	-
25	-	-	-	24	-	-	-	-	-
30	25	35	-	30	30	25	35	31	25
40	38	50	37	45	40	38	50	46	38
50	52	65	52	63	55	52	65	63	52
60	70	85	70	85	74	70	85	83	70
70	90	105	91	110	96	90	105	104	90
80	115	130	117	138	120	115	130	128	115
90	145	160	145	170	147	145	160	155	145
100	175	185	179	206	173	175	185	183	175
110	210	220	217	246	209	210	220	214	210
120	250	250	261	290	249	250	250	-	250
130	300	285	312	339	294	300	285	-	300
140	-	-	371	391	344	-	-	-	-
150	-	-	-	-	398	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

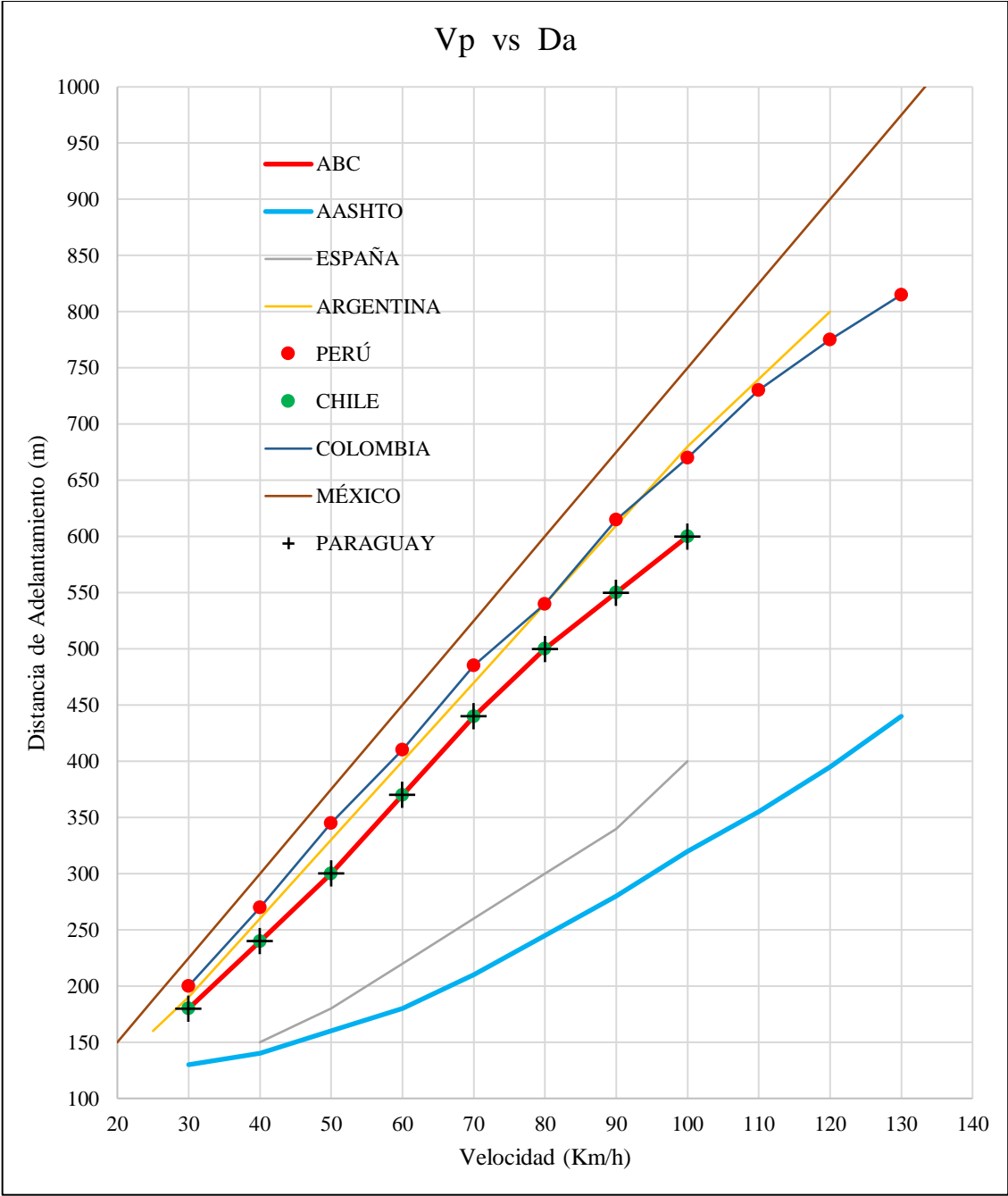


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 47: Comparación de la distancia de adelantamiento

Velocidad	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	Colombia	México	Paraguay
Km/h	tabla 2.2-2	tabla 3-4	tabla 3.3	tabla 3.3	tabla 205.03	tabla 3.202.3.A	tabla 2.9	$D_R = 7.5 V_p$	tabla 3.1_11
20	-	-	-	-	130	-	130	150	
25	-	-	-	160	-	-	-	188	
30	180	130	-	190	200	180	200	225	180
40	240	140	150	260	270	240	270	300	240
50	300	160	180	330	345	300	345	375	300
60	370	180	220	400	410	370	410	450	370
70	440	210	260	470	485	440	485	525	440
80	500	245	300	540	540	500	540	600	500
90	550	280	340	610	615	550	615	675	550
100	600	320	400	680	670	600	670	750	600
110	-	355	-	740	730	-	730	825	
120	-	395	-	800	775	-	775	900	
130	-	440	-	-	815	-	815	975	
140	-	-	-	-	-	-	-	1050	
150	-	-	-	-	-	-	-	1125	

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 48: Comparación de radio mínimo

Velocidad	ABC		AASHTO					España		Argentina			Perú				Chile		Colombia		México	Paraguay		
	e=7	e=8	e=4	e=6	e=8	e=10	e=12	e=7	e=8	e=6	e=8	e=10	e=4	e=6	e=8	e=12	e=7	e=8	e=6	e=8	e=10	e=7	e=8	
Km/h	$R_{min} = \frac{V_p^2}{127(e_{max} + f)}$		$R_{min} = \frac{V^2}{127(0.01e_{max} + f_{max})}$					$V^2 = 127 \cdot R \cdot \left(f_i + \frac{p}{100}\right)$		$R_{minAbs} = \frac{V^2}{127(e_{máx} + f_{máx})}$			$R_{min} = \frac{V^2}{127(P_{máx} + f_{máx.})}$				$R_{min} = \frac{V_p^2}{127(p_{máx} + t_{máx})}$		$R_{Cmin} = \frac{(V_{CH})^2}{127 \times (e_{máx} + f_{1máx})}$		$R_{min} = \frac{V_p^2}{127(e_{max} + f_i)}$		$R_{min} = \frac{V_p^2}{127(e_{max} + f)}$	
20	-	-	8	8	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	8	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	25	-	22	21	20	19	18	-	-	30	30	25	35	30	30	25	25	-	21	-	19	25	-	
40	50	-	47	43	41	38	36	50	-	55	50	50	60	55	50	45	50	-	43	41	38	50	-	
50	80	-	86	79	73	68	64	85	-	90	85	75	100	90	85	70	80	-	79	73	67	80	-	
60	120	-	135	132	113	105	98	130	-	135	120	110	150	135	125	105	120	-	123	113	104	120	-	
70	180	-	203	184	168	154	143	190	-	185	170	155	215	195	175	150	180	-	-	168	153	180	-	
80	250	250	280	252	229	210	194	265	250	250	230	210	280	255	230	195	250	250	-	229	208	250	250	
90	-	330	375	336	304	277	255	350	350	340	305	280	375	335	305	255	-	330	-	304	270	-	330	
100	-	425	492	437	394	358	328	-	450	450	405	365	495	440	395	330	-	425	-	394	353	-	425	
110	-	540	-	560	501	454	414	-	550	585	520	470	635	560	500	415	-	540	-	501	458	-	540	
120	-	700	-	756	667	597	540	-	770	755	665	595	875	755	670	540	-	700	-	667	-	-	700	
130	-	-	-	951	832	739	665	-	850	970	845	750	1110	950	835	665	-	-	-	832	-	-	-	
140	-	-	-	-	-	-	-	-	1050	1235	1065	935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 49: Comparación de pendiente máxima

Velocidad Km/h	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	Colombia	México	Paraguay
20	-	12	-	-	-	-	14		-
25	-	-	-	10	-	-			-
30	12	9	-	10	10	12	12	9	12
40	10	9	10	9	8 y 10	10	10	8	10
50	9	7 y 8	10	8	7 y 9	9	9 y 10	7	9
60	8	7	8	7	6 y 9	8	8 y 10	7	8
70	8	6	8	6	5 y 7	8	6 y 7	6	8
80	8, 6 y 5	6	5	6	5 y 7	8, 6 y 5	6	6	8, 6 y 5
90	5	5	5	5	4.5 y 6	5	6	5	5
100	4.5	5	4	5	4.5 y 6	4.5	5 y 6	5	4.5
110	-	5	4	4	4	-	5	4	-
120	4	-	4	4	4	4	4, 5	4	4
130	-	-	4	3	3.5	-	4		-
140	-	-	4	3	-	-	-	-	-

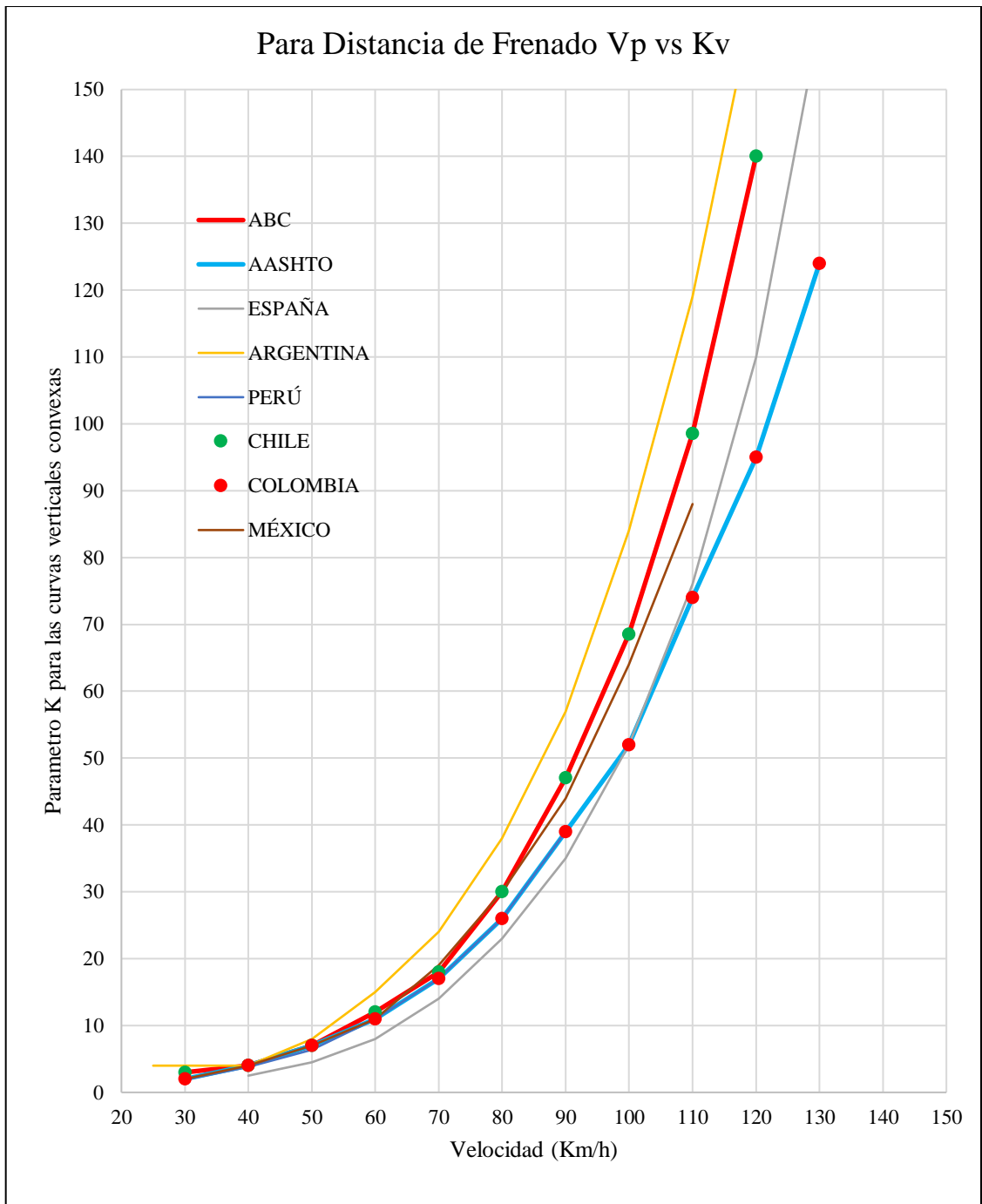
Fuente: Elaboración Propia.

K de frenado para curvas convexas

Tabla 50: Comparación de K de frenado de curvas convexas

Velocidad	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	Colombia	México	Paraguay
	tabla 2.4-4	tabla 3-34	tabla 5.3	tabla 3.15	tabla 303.02	tabla 3.204.403.A	tabla 4.4	tabla VII.33	tabla 2.4-4
Km/h	$K_v = Df^2 / 2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$	$K = L/A \cdot \left[L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \right]$	$K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$	$K = \frac{DVD^2}{100[\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}]^2}$	$L = \frac{A D_p^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$	$K_v = \frac{Dp^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$	$L_{\min} = \frac{A_x (D_p)^2}{200 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$	$K = \frac{S^2}{658}$	$K_v = Df^2 / 2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$
20		1			0.6		1		
25				4					
30	300	2		4	1.9	300	2	2	300
40	400	4	250	4	3.8	400	4	4	400
50	700	7	450	8	6.4	700	7	7	700
60	1200	11	800	15	11	1200	11	11	1200
70	1800	17	1400	24	17	1800	17	19	1800
80	3000	26	2300	38	26	3000	26	30	3000
90	4700	39	3500	57	39	4700	39	44	4700
100	6850	52	5200	84		6850	52	64	6850
110	9850	74	7600	119		9850	74	88	9850
120	14000	95	11000	165		14000	95		14000
130		124	16000	226			124		
140			20000	300					

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia.

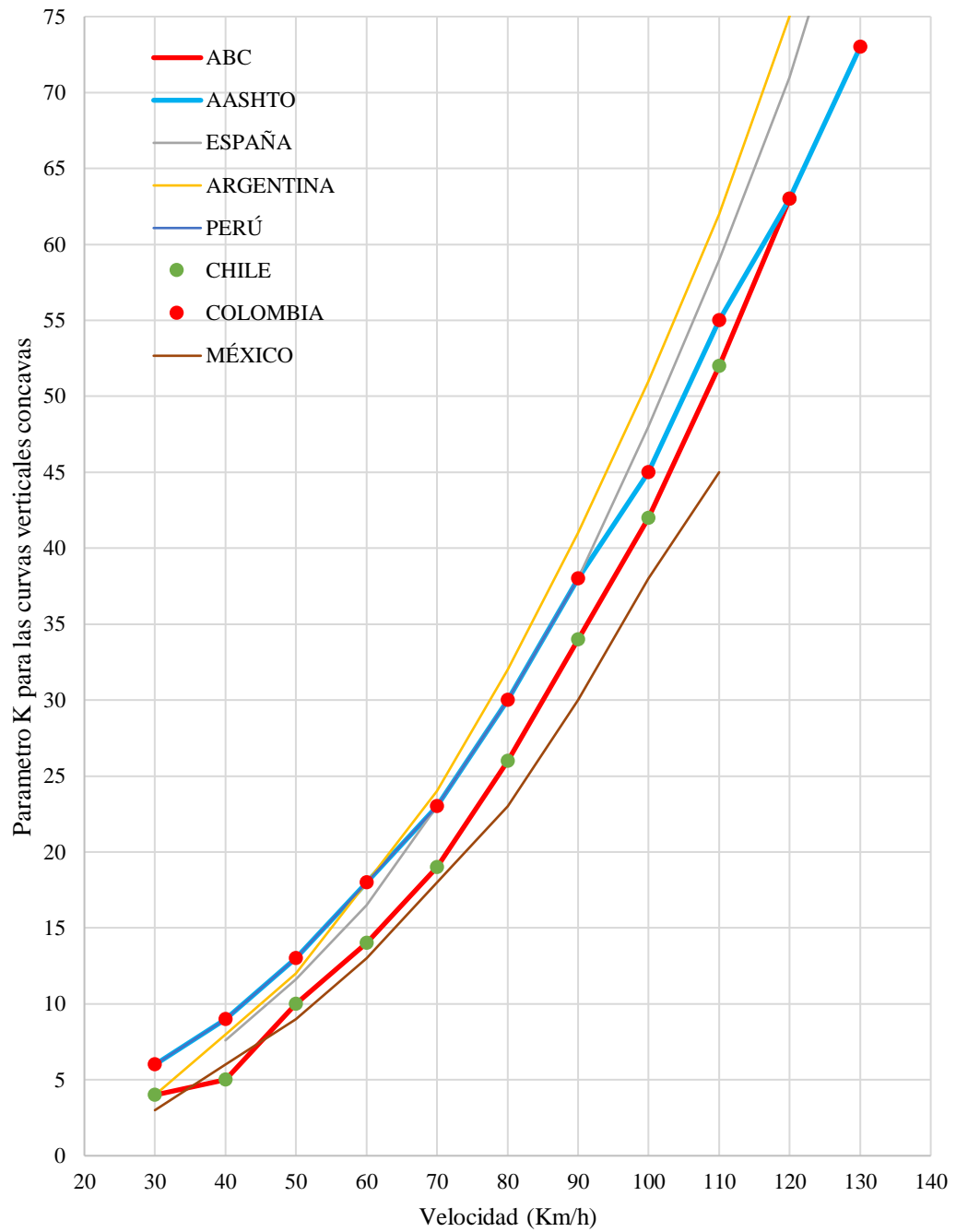
K frenado para curvas cóncavas

Tabla 51: Comparación de K de frenado de curvas cóncavas

Velocidad	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	Colombia	México
Km/h	tabla 2.4-4	tabla 3-36	tabla 5.3	tabla 3.15	tabla 303.03	tabla 3.204.403.A	tabla 4.4	tabla III.11
	$K_c = Df^2 / 2(h + Df \cdot \text{sen}\beta)$	$K = L/A \quad L = \frac{4S^2}{200[0.6 + S(\tan^2\alpha)]}$	$K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$	$K = \frac{DVD^2}{120 + 3,5DVD}$	$L = \frac{A D^2}{120 + 3,5D}$	$K_c = \frac{Dv^2}{2 \cdot (h + Dp \cdot \text{sen}\beta)}$	$L_{\min} = \frac{A_x (D_p)^2}{200 \times (H + D_p \times \tan \alpha)}$	$K = \frac{S^2}{120 + 3.5 S}$
20		3			3		3	
25				4				
30	400	6		4	6	400	6	3
40	500	9	760	8	9	500	9	6
50	1000	13	1160	12	13	1000	13	9
60	1400	18	1650	18	18	1400	18	13
70	1900	23	2300	24	23	1900	23	18
80	2600	30	3000	32	30	2600	30	23
90	3400	38	3800	41	38	3400	38	30
100	4200	45	4800	51		4200	45	38
110	5200	55	5900	62		5200	55	45
120	6300	63	7100	75		6300	63	55
130		73	8600	88			73	
140			10300	103				
150								

Fuente: Elaboración Propia.

Para Distancia de Frenado V_p vs K_c



Fuente: Elaboración Propia.

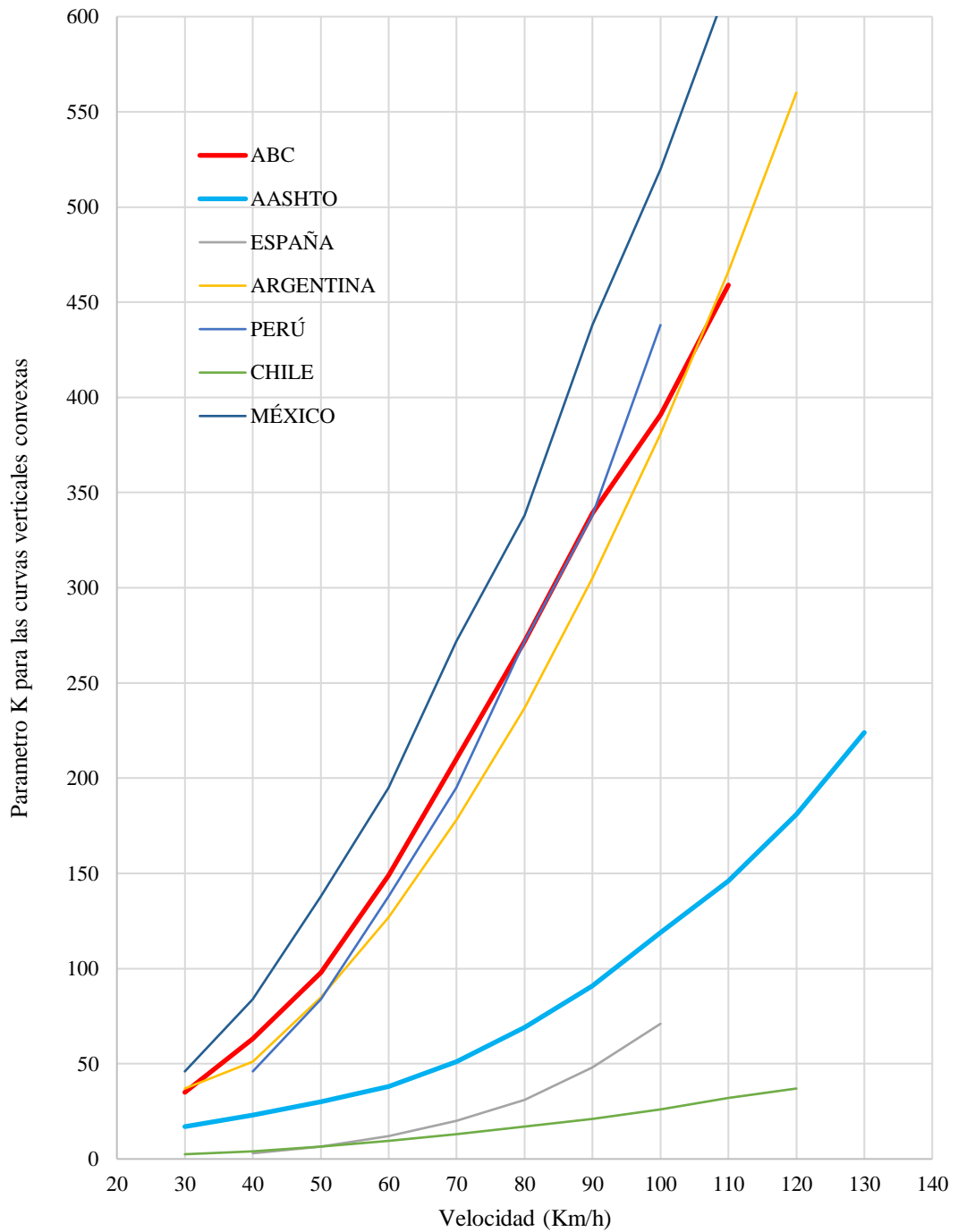
K de adelantamiento

Tabla 52: Comparación de K de adelantamiento de curvas verticales

Velocidad	ABC	AASHTO	España	Argentina	Perú	Chile	México
	tabla 2.4-6	tabla 3.35	tabla 5.3	tabla 3.15	tabla 303.02	tabla 3.204.403.b	tabla III.10
Km/h	$K_a = D a^2 / 2 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$	$K = L/A \quad L = \frac{A S^2}{864}$	$K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$		$K = L/A \quad L = \frac{A D_a^2}{946}$	$K_a = \frac{D_a^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$	$K = L/A \quad L = \frac{A \cdot d v p^2}{864}$
20							
25				37			
30	3500	17		51		250	46
40	6300	23	300	85	46	400	84
50	9800	30	650	127	84	650	138
60	14900	38	1200	178	138	950	195
70	21000	51	2000	237	195	1300	272
80	27200	69	3100	305	272	1700	338
90	33900	91	4800	381	338	2100	438
100	39100	119	7100	466	438	2600	520
110	45900	146		560		3200	617
120		181		662		3700	
130		224					

Fuente: Elaboración Propia.

Para Distancia de Adelantamiento V_p vs K_a



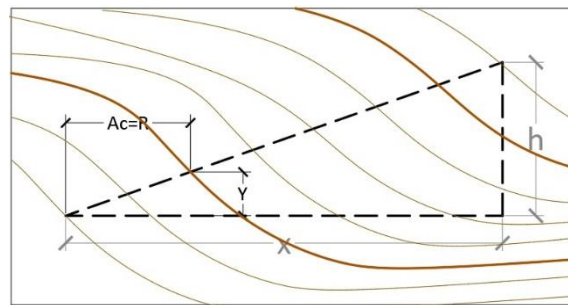
Fuente: Elaboración Propia.

3.6 Aplicación línea de pelo para AutoCAD Civil 3D.

La línea de pelo o línea gradiente, es uno de los trazos o trabajos que se realiza al inicio de todo diseño geométrico, con mayor uso en trazos nuevos, para definir el alineamiento de una vía con el propósito de mantener una pendiente uniforme por el terreno y reducir los excesivos movimientos de tierra que se pudiera generar, la línea de pelo está en función de la pendiente de diseño y de los intervalos entre curvas de nivel.

Se desarrolla por medio de la relación de triángulos.

Ilustración 47: Grafico para la abertura de compas



Si la pendiente es:

$$s = \frac{h}{x}$$
$$Ac = R = \frac{y}{s} * 100$$

Donde:

S= Pendiente (%).

Y= Intervalo entre curvas de nivel (m).

Ac= Abertura del compás o radio del círculo (m).

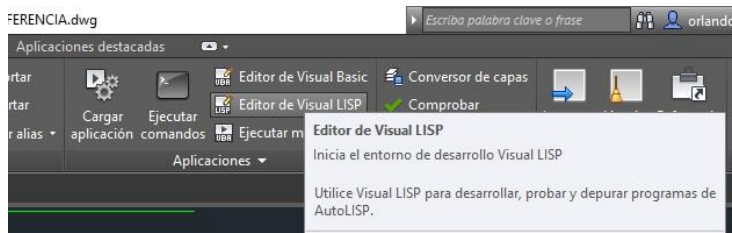
List Processing es un lenguaje de programación que se remonta a los años cincuenta y que fue desarrollado para la investigación de inteligencia artificial. La base de su funcionamiento es el manejo de listas, en lugar de datos numéricos como otros lenguajes.

Auto Lisp es una implantación LISP en AutoCAD. (Jonathan Prestamo Rodriguez, 2005), La programación de esta aplicación o rutina se realizó en AUTO LISP.

Para realizar este trabajo, dentro del software se tiene la opción de la programación.

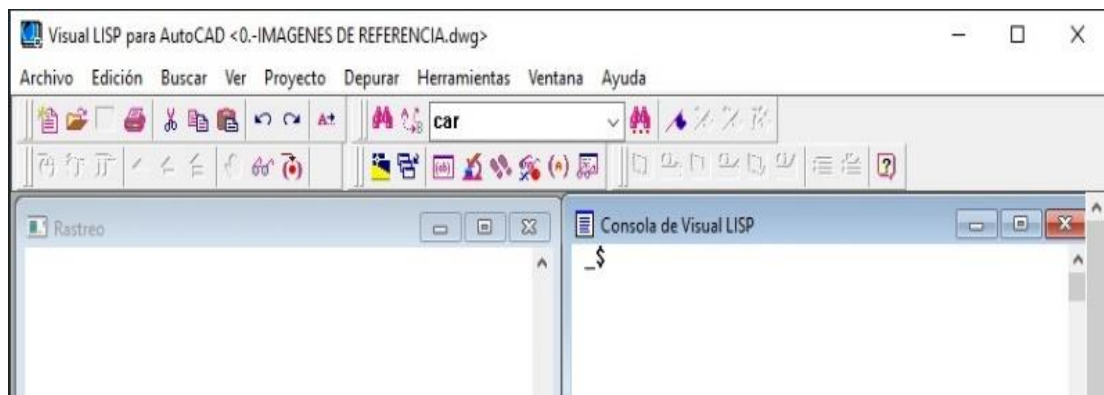
En la pestaña administrar, en la opción de Visual Editor LISP, creo la aplicación o la rutina.

Ilustración 48: Ventana para el editor de visual lisp



Abierta la ventana de Lisp, se empezó a escribir el código para realizar la rutina, los elementos a usar serán la polilínea y círculos dentro del software.

Ilustración 49: Entorno de visual lisp



Esta programación está en código abierto es decir que puede ser modificado y mejorado.

Ilustración 50: Escritura del código de línea de pelo

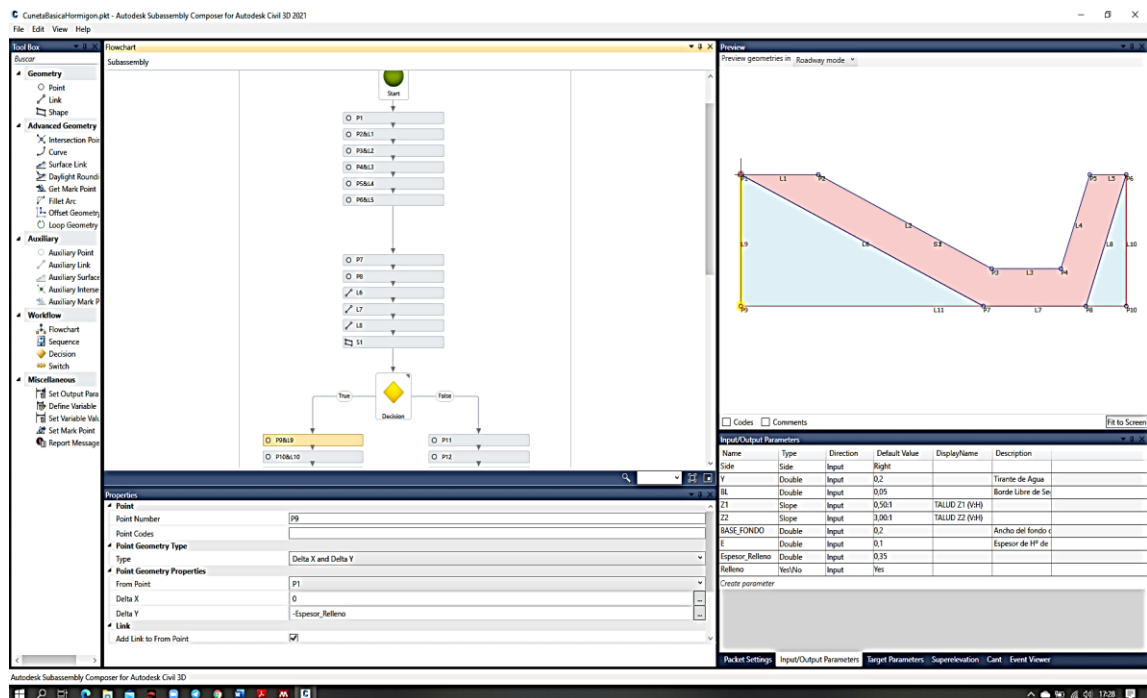
```
Visual LISP para AutoCAD <Dibujo1.dwg>
Archivo Edición Buscar Ver Proyecto Depurar Herramientas Ventana Ayuda
car
LINEA DE PELO.lsp
[setq linea1 (strcat "\nAplicacion Linea de Pelo"
"\nU.A.J.M.S. Dpto.TOPOGRAFIA Y VIAS DECOMUNICACIÓN ")
)
(setq linea2 (strcat "\nLamar al Comando Con:"
"\n UAJMS"
))
(alert (strcat linea1 linea2))
(defun c:UAJMS()
(princ)
(prompt "Comando UAJMS creado")
(princ)
(setq capaActual (getvar "clayer"))
(setq osmode-old (getvar "osmode"))
(setq 3Dmode-old (getvar "3Dmode")); 0 =Enable All 3D Object / 1 = Disable All
(setq ruta1 (getvar "LOCALROOTPREFIX"))
(setq nCar_ruta1 (strlen ruta1))
(setq idioma1 (substr ruta1 (- ncar_ruta1 3)3))
```

El código de la rutina se encuentra en el Anexo 15

3.7 Elemento que conforman la sección tipo de carreteras

Las secciones transversales con las dimensiones establecidas por el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC son variadas según la categoría, la situación y características particulares del tramo, el programa de civil 3D proporciona varias elementos para poder crear la sección tipo o también llamada ensamblaje y los elementos que lo componen se los denomina sub ensamblaje, dentro el módulo de Subassembly Composer se creó los elementos necesarios para elaborar un ensamblaje personalizado de la sección tipo.

Ilustración 51: Entorno de subassembly composer

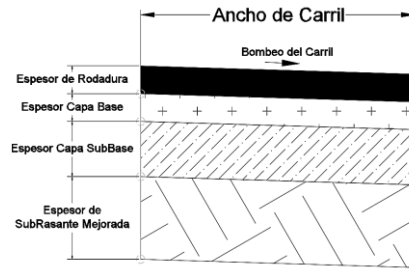


Los elementos programados son los siguientes.

- Carril básico pav. flexible
- Berma básica
- SAP
- Cuneta
- Cordón

Carril básico pav. flexible.

Ilustración 52: Representación gráfica de la estructura del pavimento flexible

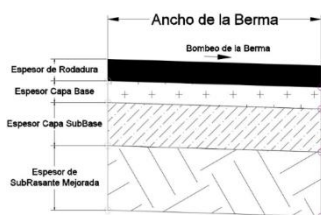


Con los parámetros o datos a ser introducidos ya mostrados en la figura se deberá seleccionar los siguientes parámetros adicionales en la caja de propiedades del elemento o sub ensamblaje.

Parámetro	Descripción	Tipo	Valor
UseSuperelevation	Precisa el uso del talud de peralte para el carril.	LeftInsideLane	Carril interior izquierdo
		LeftInsideShoulder	Arcén o berma interior izquierdo
		LeftOutsideLane	Carril exterior izquierdo
		LeftOutsideShoulder	Arcén o berma exterior izquierdo
		RightInsideLane	Carril interior derecho
		RightInsideShoulder	Arcén o berma interior derecho
		RightOutsideLane	Carril exterior derecho
		RightOutsideShoulder	Arcén o berma exterior derecho
SlopeDirection	Especifica si los taludes de carril se encuentran fuera del bombeo o hacia el bombeo.	AwayFromCrown	Fuera del bombeo
		TowardsCrown	Hacia el bombeo
PotentialPivot	Especifica si los puntos de giro interiores y exteriores pueden usarse como puntos de pivote del eje de rotación.	Yes	Si
		No	No
SupportAOR	Precisa que el carril soporta la rotación en función del eje para desarrollar el peralte.	Supported	Si soporta
		Unsupported	No soporta

Berma Básica.

Ilustración 53: Representación de la estructura de la berma



De similar manera que se realizó para el carril básico contempla los mismos parámetros **Sobre ancho de plataforma SAP.**

Ilustración 54: Representación de SAP



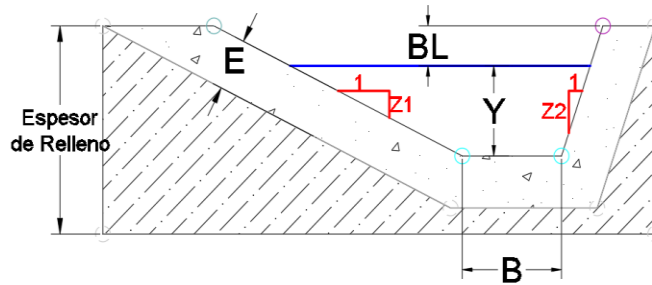
Parámetro	Descripción	Tipo	Valor
UseSuperelevation	Precisa el uso del talud de peralte para el SAP	LeftInsideLane	Carril interior izquierdo
		LeftInsideShoulder	Arcén o berma interior izquierdo
		LeftOutsideLane	Carril exterior izquierdo
		LeftOutsideShoulder	Arcén o berma exterior izquierdo
		RightInsideLane	Carril interior derecho
		RightInsideShoulder	Arcén o berma interior derecho
		RightOutsideLane	Carril exterior derecho
		RightOutsideShoulder	Arcén o berma exterior derecho
SlopeDirection	Especifica si los taludes de SAP se encuentran fuera del bombeo o hacia el bombeo.	AwayFromCrown	Fuera del bombeo
		TowardsCrown	Hacia el bombeo
PotentialPivot	Especifica si los puntos de giro interiores y exteriores pueden usarse como puntos de pivote del eje de rotación.	Yes	Si
		No	No
SupportAOR	Precisa que el SAP soporta la rotación en función del eje para desarrollar el peralte.	Supported	Si soporta
		Unsupported	No soporta

Cuneta básica de hormigón.

Los parámetros solicitados por el elemento serán según la figura la cual varia o se adecua según los valores introducidos.

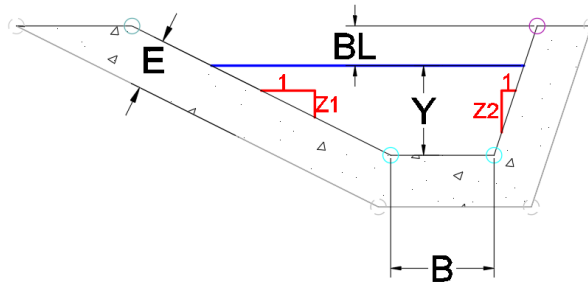
Con relleno

Ilustración 55: Estructura de la cuneta con relleno



Sin relleno

Ilustración 56: Estructura de la cuneta sin relleno



Talud de la cuneta esta (V:H) \rightarrow (Z1 : 1)

En caso que se dese introducir (H:V) se deberá dividir previamente 1/Z.

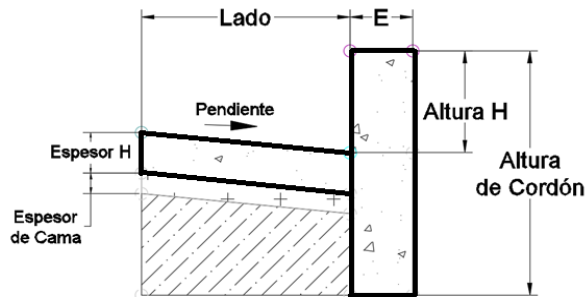
Ejemplo:

Talud 2:1 (H:V) $\rightarrow 1/2 = 0.5 \rightarrow 0.5:1$ (V:H) forma de introducirlo y que sea reconocido por la geometría del elemento.

Talud 3:1 (H:V) $\rightarrow 1/3 = 0.33 \rightarrow 0.33:1$ (V:H)

Cordón Básico.

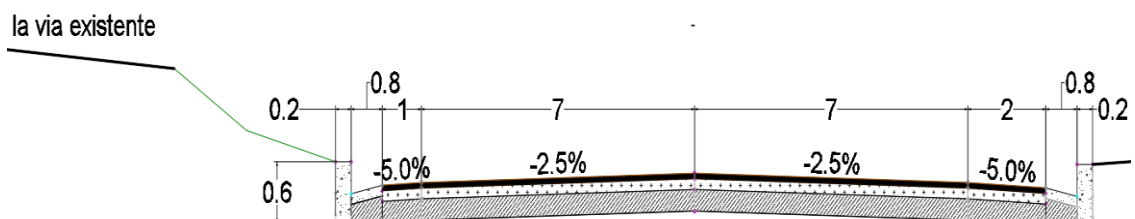
Ilustración 57: Estructura del cordón



Descripción de los parámetros para el cordón es:

Lado	Corresponde una cuneta adherida al cordón para escurrir el agua superficial en sectores de terraplenes.
Espesor H	Corresponde al grosor del Hormigón.
Pendiente	Especifica la el bombeo que tiene para el agua escurrida no retorno a la carpeta asfáltica.
Espesor de Cama	Corresponde a la altura de una cama de arena o un material sobre lo que estará colocada el elemento.
E	Espesor o grosor del cordón.
H	Altura del cordón que es visible y sirve como barrera para los vehículos.

Con los elementos elaborados se construye la sección tipo, para la doble vía Yacuiba-Campo Pajoso con las siguientes dimensiones:



3.8 Formato de presentación

Es importante contar con un formato estándar de impresión de los planos para el diseño geométrico de carreteras. La Administradora Boliviana de Carreteras “ABC” en el manual de planos de obras tipo, presenta el formato para la presentación de planos, con los siguientes tamaños de hojas.

Tabla 53: Tamaño de papel

FORMATO	DIMENSIONES
A1	594 x 841 mm
A3	297 x 420 mm

Tamaño de hoja

El tamaño de hoja o formato de presentación es el estándar internacional ISO 216 de la serie A que es el más habitual, para conseguir todos los formatos de hoja y se divide por la mitad, empezando con la hoja más grande A0 hasta la más pequeña de la serie A10.

El formato A1, se usa para el diseño técnico, también para: cartografías, carteles, pósters y otros materiales técnicos que requieren formatos grandes.


Cada institución pública tiene un formato establecido para la presentación de sus planos, para el presente trabajo se adopta los respectivos tamaño o formatos de hoja A1.

Membrete o carimbo


El membrete o carimbo que presenta la ABC contempla información o contenido que la institución considera que es necesaria para ser aceptada y aprobada por la misma. Con las dimensiones establecidas y tamaños de textos adecuados para una buena lectura.

Ilustración 58: Formato según ABC con márgenes


A : IMAGEN CON COLOR DEL ESCUDO DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



B : IMAGEN CON COLOR DEL ESCUDO DEL DEPARTAMENTO EN EL QUE SE REALIZA EL PROYECTO
EJEMPLO: ESCUDO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ



C : IMAGEN DEL LOGO DE LA ENTIDAD ESTATAL CONTRATANTE
EJEMPLO: ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS



D : IMAGEN DEL LOGO DE LA EMPRESA QUE ELABORA EL PROYECTO

FORMATO A1 (594 x 841 mm)	
COLUMNA	ANCHO (cm)
MARGEN IZQUIERDO	5.00
MARGEN DERECHO	2.00
MARGEN SUPERIOR	2.00
MARGEN INFERIOR	2.00

FORMATO A3 (297 x 420 mm)	
COLUMNA	ANCHO (cm)
MARGEN IZQUIERDO	2.50
MARGEN DERECHO	1.00
MARGEN SUPERIOR	1.00
MARGEN INFERIOR	1.00

FORMATO A1 (594 x 841 mm)	
COLUMNA	ANCHO (cm)
HA	3.00
HB	3.00
HC	3.00
HD	2.50

FORMATO A3 (297 x 420 mm)	
COLUMNA	ANCHO (cm)
HA	1.50
HB	1.50
HC	1.50
HD	1.25

A

B

C

D

1	ELABORADO POR	FECHA	FFMM
2	DISENYO		
3	REVISADO POR	FECHA	FFMM
4	REVISADO POR	FECHA	FFMM
5	FISCAL		

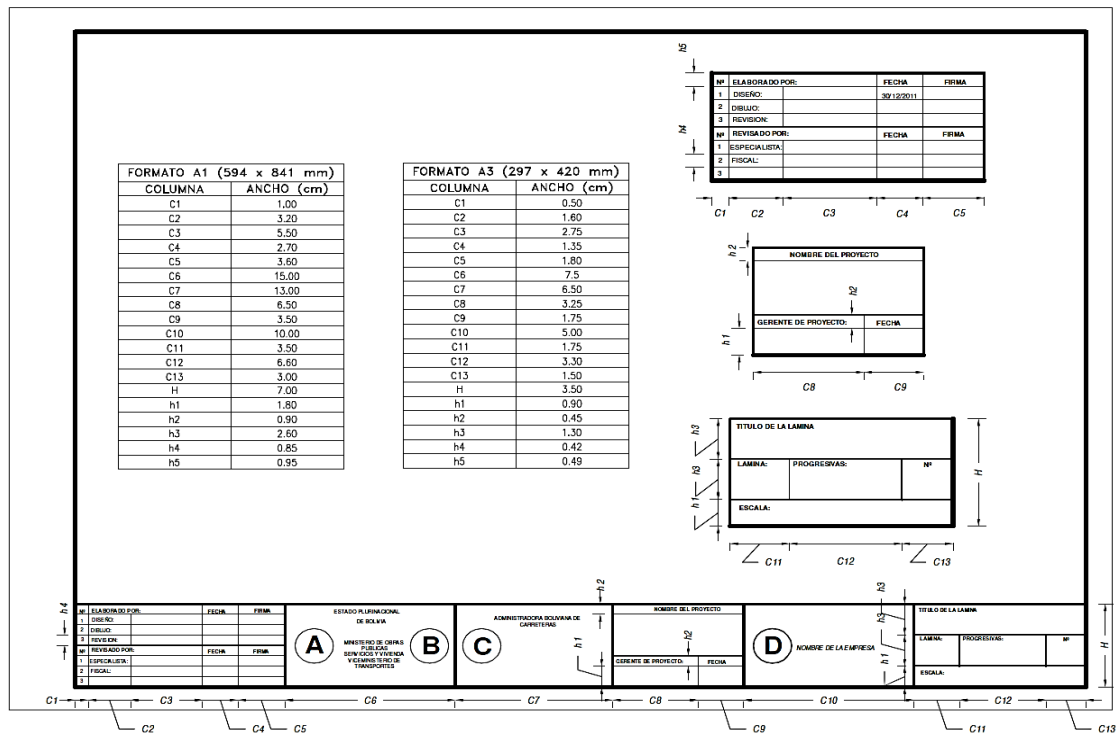
ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px;">A</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px;">B</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px;">C</div> </div>
MINISTERIO DE OBRAS Y SERVICIOS VIAL SECRETARÍA GENERAL DE VIALIDAD VICEMINISTERIO DE TRANSPORTES

ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px;">D</div>

NOMBRE DEL PROYECTO	FECHA
GENERO DEL PROYECTO	FECHA

TITULO DE LA LAMINA	LAMINA	PROGRESIVA	N°
ESCALA:			

Ilustración 59: Dimensiones del carimbo según ABC



Para el presente trabajo se establece un modelo de un membrete o carimbo, con los estilos de textos, altura, dimensiones y con el contenido necesario para el diseño geométrico de carreteras a ser presentados a la universidad como un formato estándar.

Ilustración 60: Modelo de lámina propuesto

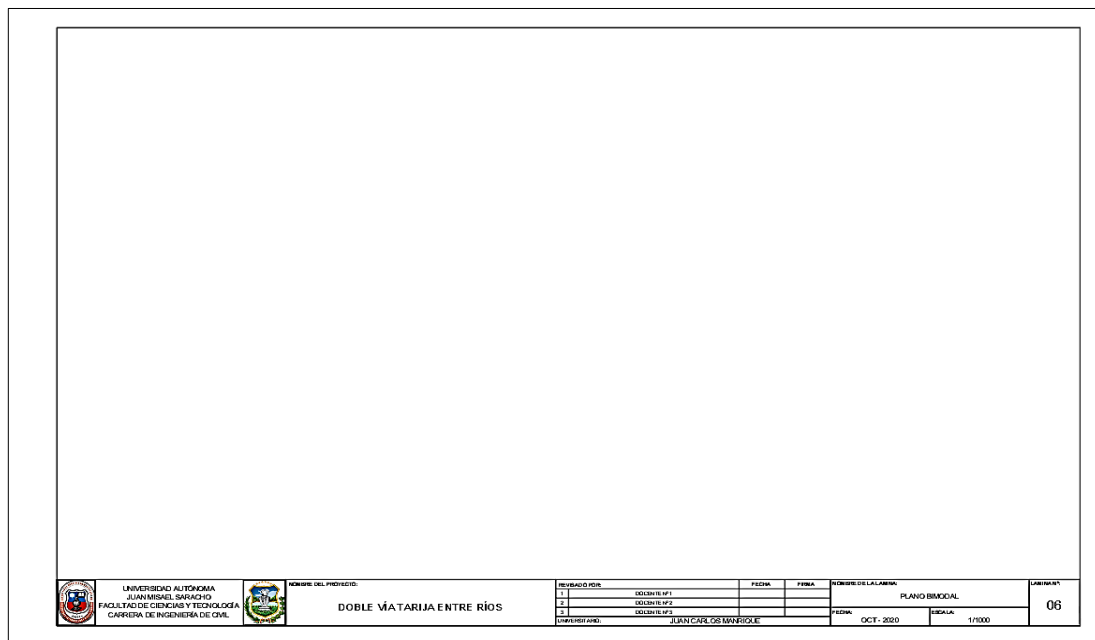


Ilustración 61: Dimensiones del carimbo propuesto

DIMENSIONES		ALTURA DE TEXTO																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">A1 841 x 841 mm</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones en mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>C1</td><td>205</td></tr> <tr><td>C2</td><td>195</td></tr> <tr><td>C3</td><td>10</td></tr> <tr><td>C4</td><td>132</td></tr> <tr><td>C5</td><td>36</td></tr> <tr><td>C6</td><td>36</td></tr> <tr><td>C7</td><td>120</td></tr> <tr><td>C8</td><td>43</td></tr> <tr><td>C9</td><td>60</td></tr> <tr><td>C10</td><td>60</td></tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones en mm</th> </tr> <tr><td>H1</td><td>40</td></tr> <tr><td>H2</td><td>8</td></tr> <tr><td>H3</td><td>24</td></tr> <tr><td>H4</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>		A1 841 x 841 mm		Dimensiones en mm		C1	205	C2	195	C3	10	C4	132	C5	36	C6	36	C7	120	C8	43	C9	60	C10	60	Dimensiones en mm		H1	40	H2	8	H3	24	H4	15	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">A3 297 x 420 mm</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones en mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>C1</td><td>90</td></tr> <tr><td>C2</td><td>93</td></tr> <tr><td>C3</td><td>4</td></tr> <tr><td>C4</td><td>63</td></tr> <tr><td>C5</td><td>18</td></tr> <tr><td>C6</td><td>18</td></tr> <tr><td>C7</td><td>78</td></tr> <tr><td>C8</td><td>21</td></tr> <tr><td>C9</td><td>30</td></tr> <tr><td>C10</td><td>30</td></tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones en mm</th> </tr> <tr><td>H1</td><td>20</td></tr> <tr><td>H2</td><td>4</td></tr> <tr><td>H3</td><td>12</td></tr> <tr><td>H4</td><td>8</td></tr> </tbody> </table>		A3 297 x 420 mm		Dimensiones en mm		C1	90	C2	93	C3	4	C4	63	C5	18	C6	18	C7	78	C8	21	C9	30	C10	30	Dimensiones en mm		H1	20	H2	4	H3	12	H4	8
A1 841 x 841 mm																																																																							
Dimensiones en mm																																																																							
C1	205																																																																						
C2	195																																																																						
C3	10																																																																						
C4	132																																																																						
C5	36																																																																						
C6	36																																																																						
C7	120																																																																						
C8	43																																																																						
C9	60																																																																						
C10	60																																																																						
Dimensiones en mm																																																																							
H1	40																																																																						
H2	8																																																																						
H3	24																																																																						
H4	15																																																																						
A3 297 x 420 mm																																																																							
Dimensiones en mm																																																																							
C1	90																																																																						
C2	93																																																																						
C3	4																																																																						
C4	63																																																																						
C5	18																																																																						
C6	18																																																																						
C7	78																																																																						
C8	21																																																																						
C9	30																																																																						
C10	30																																																																						
Dimensiones en mm																																																																							
H1	20																																																																						
H2	4																																																																						
H3	12																																																																						
H4	8																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">A1</th> </tr> <tr> <th>Estilo</th> <th>Fuente</th> <th>Altura mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ST1</td> <td>Arial negrita</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ST2</td> <td>arial</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ST3</td> <td>arial</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>ST4</td> <td>arial</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ST5</td> <td>arial</td> <td>8.0</td> </tr> </tbody> </table>		A1			Estilo	Fuente	Altura mm	ST1	Arial negrita	3.0	ST2	arial	3.0	ST3	arial	4.0	ST4	arial	3.0	ST5	arial	8.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">A3</th> </tr> <tr> <th>Estilo</th> <th>Fuente</th> <th>Altura mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ST1</td> <td>Arial negrita</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>ST2</td> <td>Arial</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>ST3</td> <td>Arial</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>ST4</td> <td>Arial</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>ST5</td> <td>Arial</td> <td>4.0</td> </tr> </tbody> </table>		A3			Estilo	Fuente	Altura mm	ST1	Arial negrita	1.5	ST2	Arial	1.5	ST3	Arial	2.0	ST4	Arial	2.5	ST5	Arial	4.0																										
A1																																																																							
Estilo	Fuente	Altura mm																																																																					
ST1	Arial negrita	3.0																																																																					
ST2	arial	3.0																																																																					
ST3	arial	4.0																																																																					
ST4	arial	3.0																																																																					
ST5	arial	8.0																																																																					
A3																																																																							
Estilo	Fuente	Altura mm																																																																					
ST1	Arial negrita	1.5																																																																					
ST2	Arial	1.5																																																																					
ST3	Arial	2.0																																																																					
ST4	Arial	2.5																																																																					
ST5	Arial	4.0																																																																					

Se puede observar que el tamaño de la hoja propuesto por la ABC está según estándares internacionales y por lo cual se adoptarán los mismos tamaños de hoja. El membrete o carimbo que presenta la ABC, está orientado a empresas constructoras y consultoras, por lo cual es necesario contar con un formato para la universidad.

El carimbo o membrete presentado, está orientado más a ser usado por los tesisas que realicen el diseño geométrico de carreteras para la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho con la información necesaria.

Grosos y tipo de línea.

Los grososres de línea se usan para darle importancia y diferenciarlo de las demás líneas, siendo más entendible los planos y por tanto una mejor presentación. Los grososres de líneas disponibles en el software son variados, estos son:

Ilustración 62: Grososres de línea disponibles

0.09 mm
0.09 mm
0.13 mm
0.15 mm
0.18 mm
0.20 mm
0.25 mm
0.30 mm
0.35 mm
0.40 mm
0.50 mm
0.53 mm
0.60 mm

Se recomienda los siguientes grososres para los elementos o componente de los trazos.

Tabla 54: Grosos de línea adoptados

Elemento	Grosor de línea	Tipo de línea
Curvas de nivel mayor	0.2 mm	Línea continua
Curvas de nivel menores	0.09 mm	Línea continua
Ríos o quebradas	0.6 mm	Línea continua
Eje de vía	0.3 mm	Línea continua
Borde de carril	0.2 mm	Línea segmentada
Perfil de terreno existente	0.3 mm	Línea segmentada
Perfil de rasante de la vía	0.2 mm	Línea continua
Grillas de perfil y secciones	0.09 mm	Línea continua

Con los grosos recomendados se tendrá una mejor calidad de planos y una mejor visualización. Los grosos recomendados van dentro del software los cuales se mantendrán al momento de imprimir.

Altura de texto.

La altura de texto es muy importante, estos textos no deben ser muy pequeños impidiendo a que sean legibles y entendibles; pero tampoco muy grandes que se sobrepongan y saturen. Por lo cual se recomienda las siguientes alturas de texto según la etiqueta y la importancia que este tendrá,

Para los planos o las láminas que se presentarán en una escala de 1:1000 las alturas de textos a usar son:

Tabla 55: Altura de texto para los planos bimodales

Etiqueta	Altura de texto
Punto	1.5 mm
Superficie	1.5 mm
Prog. Alineamiento	2 mm
Elemento de alineamiento	2 mm
Indicador de elemento	3 mm
Título del perfil longitudinal	3 mm
Ejes de perfil longitudinal	2 mm
Guitarras del perfil longitudinal	2 mm
Prog. de línea de muestreo	2 mm

La altura de texto para las etiquetas de secciones transversales sabiendo que la presentación será en una escala de 1:250 se manejará las siguientes alturas de texto.

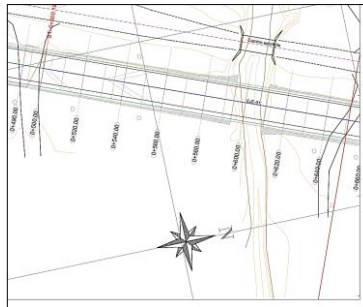
Tabla 56: Altura de texto para los planos de secciones

Etiqueta	Altura de texto
Título de sección transversal	2 mm
Ejes de sección transversal	1.8 mm
Guitarra de sección transversal	1.5 mm
Tabla de sección transversal	1.5 mm
Pendiente de peralte	1.5 mm

Referencia de norte

Los planos bimodales del diseño geométrico de carreteras en su vista en planta deberán contar con el norte para una mejor referencia.

Ilustración 63: Referencia del norte



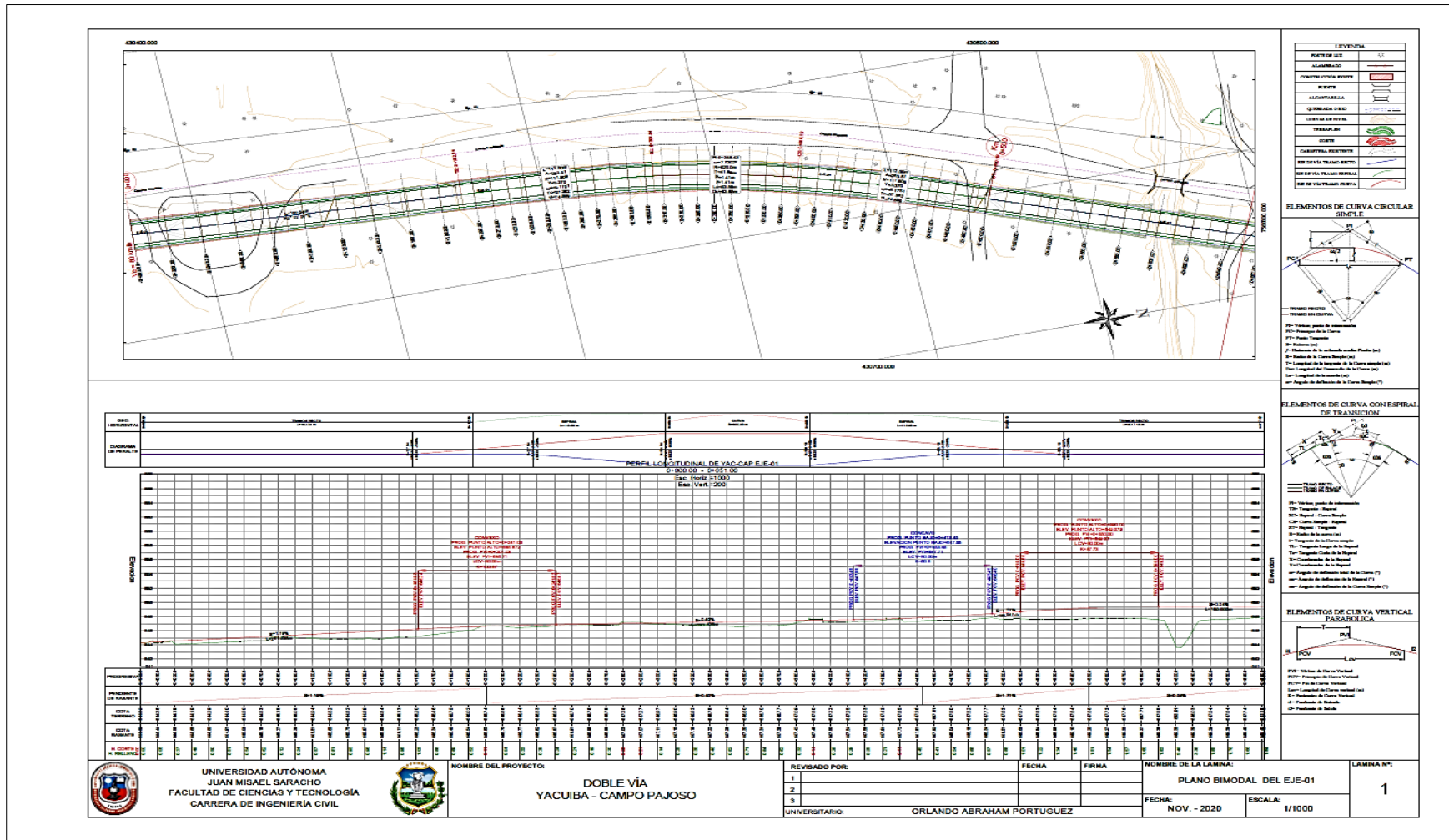
Leyenda de objetos dibujados

La vista en planta tendrá una leyenda de los objetos dibujados, como ser: ríos, quebradas, alcantarillas, puentes, etc. Todos los objetos se dibujarán con la importancia que se merece.

Ilustración 64: Leyenda del plano

LEYENDA	
POSTE DE LUZ	
ALAMBRADO	
CONSTRUCCIÓN EXISTE	
PUENTE	
ALCANTARILLA	
QUEBRADA O RIO	
CURVAS DE NIVEL	
TERRAPLEN	
CORTE	
CARRETERA EXISTENTE	
EJE DE VÍA TRAMO RECTO	
EJE DE VÍA TRAMO ESPIRAL	
EJE DE VÍA TRAMO CURVA	

Ilustración 65: Ejemplo de formato de presentación propuesto



3.9 Plantilla de para el diseño de carretera.

La creación de una plantilla de estilos es la representación gráfica en condiciones óptimas, en donde se optimizará la productividad del diseño de carreteras, con las configuraciones adecuadas, se podrá mostrar de forma precisa la información del alineamiento, perfil, secciones transversales, etc.

La configuración de los elementos a ser creados o modificados es:

- Punto
- Superficie
- Alineamiento
- Perfil
- Guitarras
- Secciones transversales
- Diagrama de masas

Se personaliza de cada uno de los componentes con sus respectivas etiquetas con la información necesaria.

El procedimiento o los pasos para la creación de la plantilla se muestra en el Anexo 16.

CAPITULO IV RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

4.1 Normativa de diseño geométrico según ABC para AutoCAD Civil 3D.

Observada la variación de los valores de algunos de los parámetros de diseño geométrico de carreteras en el manual de la ABC con algunas normas de países, ya sea por los factores de la orografía de cada zona u otros, se ve la necesidad de contar con los parámetros de diseño adecuadas para nuestro país en el programa AutoCAD Civil 3D.

El programa de AutoCAD Civil 3D permite la personalización según los requerimientos particulares o locales para el diseño bajo normativa vigente de la región.

Para ello el programa necesita la siguiente información de entrada para la configuración de los archivos de normas de diseño.

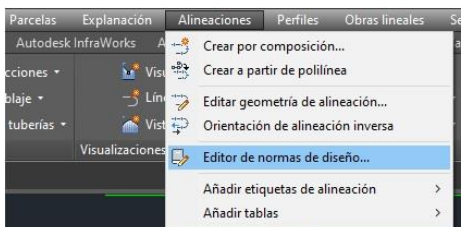
Tabla 57: Parámetro de entrada para el archivo de norma según ABC.

Concepto	Parámetro	Descripción
Unidades	Unidades	Se establece las unidades de medida para la longitud, área, volumen y velocidad.
Alineamiento	Radios mínimos	Se establece los valores de los radios según la fórmula presentada por el manual y en función del peralte máximo
	Método de definición de peralte	Se define fórmula para la transición del peralte según curva (Circulares simples o con espirales de transición)
	Peralte	Se establece los valores del peralte según las relaciones presentadas por el manual y el peralte máximo las longitudes de transición del peralte para las curvas
	Sobre ancho	Se establece los valores de sobrecanchos según radio y tipo de vehículo presentado por el manual de la ABC
Perfil	Valor de K	Se establece los valores de k para las curvas verticales que garanticen las distancias de visibilidad

Con todos los parámetros definidos que nos presenta el manual de diseño geométrico de carreteras de la administradora de camino de Bolivia, en su versión 2008, se procedió a cargar los parámetros mínimos recomendados, por el manual en el módulo específico de software ya que el mismo permite.

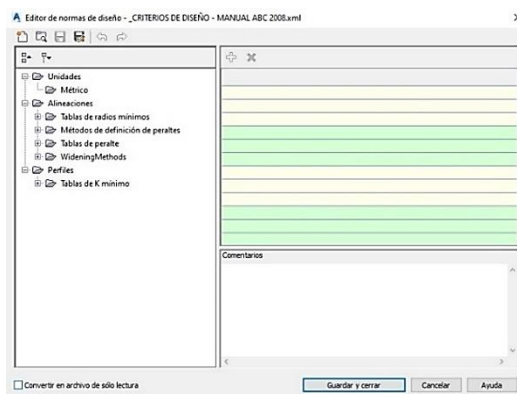
En la barra de menú, en la pestaña de alineaciones se desplegará una lista en la cual se seleccionará el editor de normas de diseño.

Ilustración 66: Pestaña de ubicación del editor de norma



Dentro de la cual nos permite crear los parametros minimos, según el manual de diseño geométrico de carreteras de la ABC 2008.

Ilustración 67: Ventana de creación del archivo de norma



Dentro del módulo de editor de normas de diseño se creó una nueva norma de diseño, con el nombre de **_CRITERIOS DE DISEÑO - MANUAL ABC 2008** y se procederá a introducir los parámetros ya mencionados.

4.1.1 Unidades.

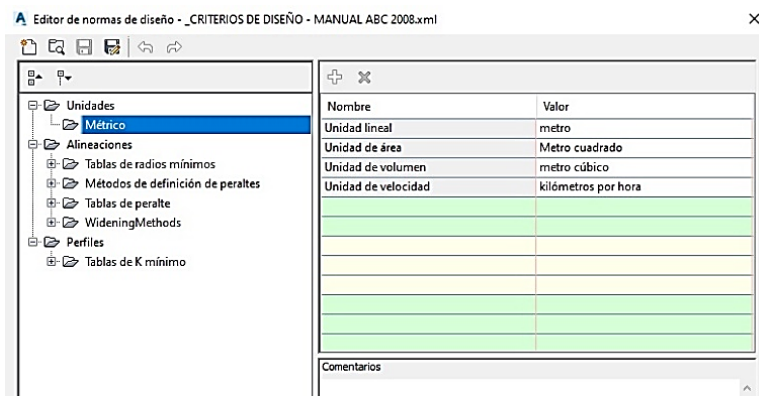
El apartado de unidades fue configurado según el sistema métrico y las unidades a trabajar son: longitud, área, volumen y velocidad, según el siguiente cuadro.

Tabla 58: Unidades a trabajar

Unidad lineal	m
Unidad de área	m ²
Unidad de volumen	m ³
Unidad de velocidad	Km/h

Se configuró las unidades que se solicitan en el sistema métrico.

Ilustración 68: Ventana para cargar unidades

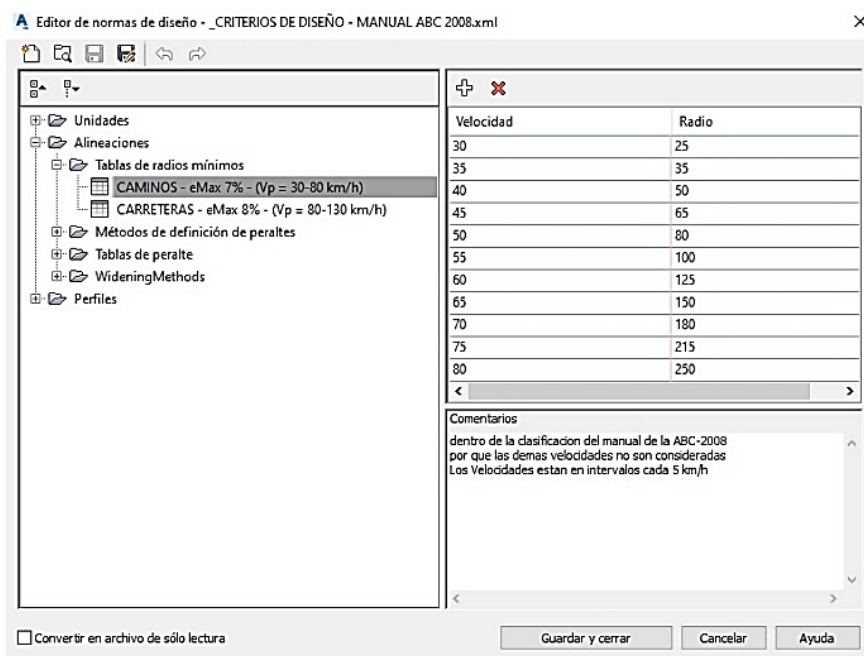


4.1.2 Radios mínimos.

En el apartado de alineaciones se procedió según los datos requeridos para llenar los criterios de diseño según el manual de la ABC.

En la tabla de radios mínimos se añade según la clasificación del manual de la ABC en Caminos y Carreteras, con sus respectivos peraltes máximos y las velocidades de diseño que estos comprenden, en el Anexo 1 y Anexo 2 se muestra los radios tabulados.

Ilustración 69: Ventana para cargar radios mínimos



4.1.3 Método de definición de peralte.

En el apartado de método de definición de peralte, se introdujo para las curvas circulares simples y para curvas con espirales de transición.

Para la curva circular simple el programa presenta puntos característicos de la siguiente manera.

Ilustración 70: Ventana de definición de peraltes en curvas circulares

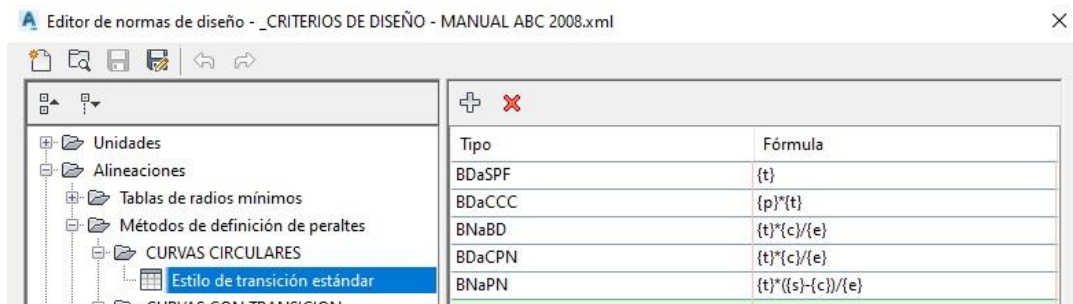
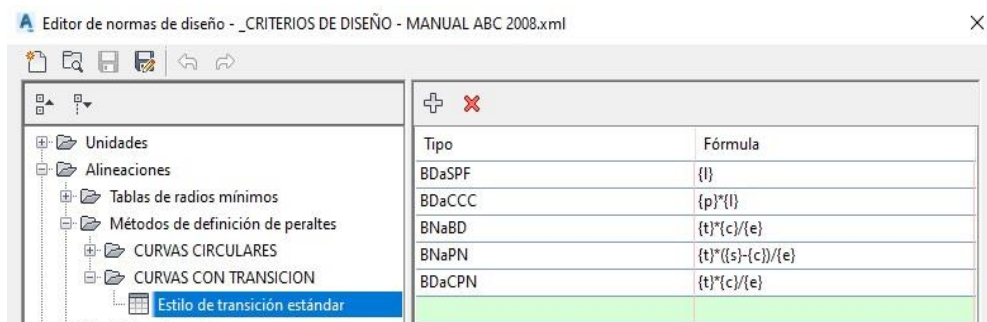


Tabla 59: Expresiones del peralte

BDaSPF	La distancia desde PK de bombeo desvanecido a PK con la sección peraltada final es el valor (t), que se lee a partir de la tabla de longitudes de transición seleccionada.
BDaCCC	La distancia desde el PK de bombeo desvanecido al PK de comienzo de curva es un porcentaje de la longitud de transición del peralte (t) basado en la variable (p)
BNaBD	Punto de arcén normal a punto de bombeo normal.
BDaCPN	Distancia desde el PK de bombeo desvanecido al PK de bombeo invertido.
BNaPN	Punto de arcén normal a punto de bombeo normal.

Ilustración 71: Ventana de definición de peraltes en curvas con transición



Donde:

e= Tasa de peralte total para la curva

c= Pendiente normal de la corona (% , positiva)

s= Pendiente normal del hombro (% , positiva)

t= Longitud de transición de las tablas

w= Mayor ancho desde el punto de pivote hasta el borde del camino recorrido

l= Longitud de la espiral (encontrada en alineación)

p= Parte fraccionaria de la longitud de transición lograda antes del punto BC

q= Tasa de aumento de la aceleración centrípeta que viaja a lo largo de la curva a velocidad constante

4.1.4 Peralte.

En tabla de peraltes se añadirá de forma tal como se calculó con las relaciones presentados en el manual de la ABC y el en el Anexo 3 y Anexo 4.

Carreteras:

$$250 \leq R \leq 700 \rightarrow e = 8\%$$

$$700 < R \leq 5000 \rightarrow e = 8\% - 7.3 * (1 - 700/R)^{1.3}$$

$$5000 < R \leq 7500 \rightarrow e = 2\%$$

$$7500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

Caminos:

$$25 \leq R \leq 350 \rightarrow e = 7\%$$

$$350 < R \leq 2500 \rightarrow e = 7\% - 6.08 * (1 - 350/R)^{1.3}$$

$$2500 < R \leq 3500 \rightarrow e = 2\%$$

$$3500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

Dichas expresiones están en función de los radios y las velocidades de proyecto, de acuerdo con el peralte máximo para las categorías de las vías.

Ilustración 72: Ventana para los peraltes

Editor de normas de diseño - _CRITERIOS DE DISEÑO - MANUAL ABC 2008.xml

Radio	Peralte
3500	NC
3450	2.0
3400	2.0
3350	2.0
3300	2.0
3250	2.0
3200	2.0
3150	2.0
3100	2.0
3050	2.0
3000	2.0
2950	2.0

4.1.5 Transición de peralte.

Definido el peralte, se precisó las longitudes de transición de peralte, para cada uno de los radios de las velocidades de diseño, según el número de carriles en la calzada. Se considera un ancho mínimo de 3.5 de carril. Según la fórmula presentada en el manual de la ABC.

$$l = \frac{n * a * \Delta_p}{\Delta}$$

Los valores calculados con la fórmula se presentan en los Anexos 5 al 9 según el número de carriles por sentido los mismos que fueron tabulados para el software.

Ilustración 73: Ventana para la transición del peralte

Editor de normas de diseño - _CRITERIOS DE DISEÑO - MANUAL ABC 2008.xml

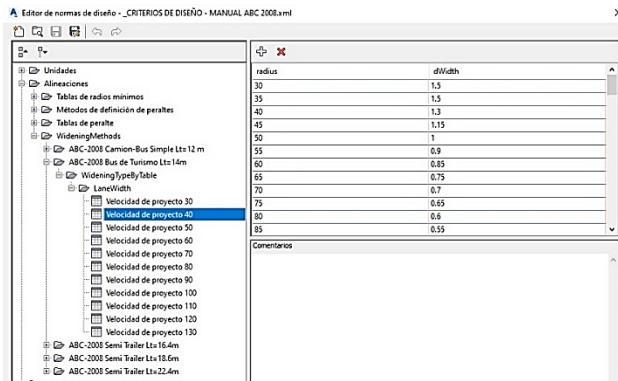
Radio	Longitud de transición completa del peralte
3300	10.0
3200	10.0
3250	10.0
3200	10.0
3150	10.0
3100	10.0
3050	10.0
3000	10.0
2950	10.0
2900	10.0
2850	10.0
2800	10.0

4.1.6 Sobrecancho.

Los sobrecanchos se dan al interior de las curvas horizontales con la finalidad que los vehículos no invadan carril al dar los giros.

Se emplearán los vehículos tipos presentados en el manual con sus respectivas longitudes y expresiones de cálculo para cada caso, los valores tabulados para el software se encuentran en el Anexo 10.

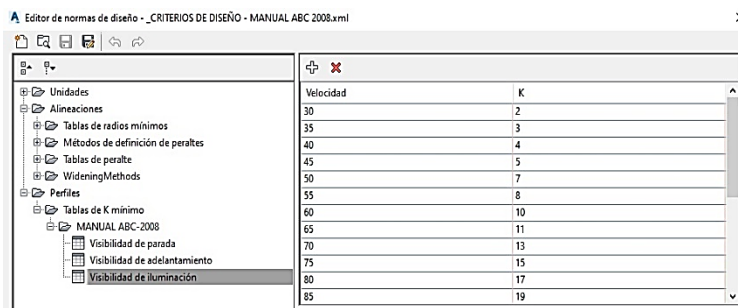
Ilustración 74: Ventana para los sobre anchos de curvas



4.1.7 Valores de k.

Para el parámetro de las curvas verticales, el valor de K que requiere el programa está en función de las pendientes de entrada y de salida, los parámetros presentados en el manual de la ABC para las curvas verticales se dividieron entre 100 debido a que el manual proporciona radios de curvas verticales y no así el valor de K propiamente dicho, estos valores están tabulados del Anexo 11 a 14.

Ilustración 75: Ventana para el parámetro K de las curvas verticales



De esta manera se llenó los valores necesarios de los parámetros de las curvas verticales tanto para la distancia de parada o frenado, como de adelantamiento y la distancia de visibilidad de iluminación.

Como se puede observar los parámetros requeridos por el programa para conforma la norma son pocos, quedando muchos otros parámetros por fuera, por lo cual estos otros serán cargados en la plantilla de dibujo como comprobaciones de diseño.

El archivo de la norma de diseño completa será entregado en formato Xml para el programa de AutoCAD Civil 3D para las versiones de en español desde la 2017 hasta la 2021.

4.2 Verificación de la normativa en civil 3D

Se verificó los datos cargados al programa AutoCAD Civil 3D, con las fórmulas planteadas por el manual de la ABC para la curva simple y curva con espiral de enlace.

Curva circular simple

Los datos de partida o de entrada son los siguientes:

Categoría	= Camino
Velocidad	= 50 km/h
Radio mínimo	= 80 m
Deflexión	= 64.257 °
Vehículo tipo	= Semitrailer Lt=16.4
Sentido de la curva	= Derecho
Bombeo	= -2%
Carril/Sentido	= 1
Ancho Carril	= 3.5m

E= Distancia a Externa (m)

$$E = R * \left[\sec\left(\frac{\omega}{2}\right) - 1 \right]$$
$$E=14.467m$$

f= Distancia de la ordenada media (m)

$$f = R * \left[1 - \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) \right]$$
$$f=12.251m$$

T= Longitud de la tangente (m)

$$T = R * \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)$$
$$T=50.239m$$

Dc= Longitud del desarrollo de la curva (m)

$$Dc = \frac{\pi * R * \omega}{180}$$

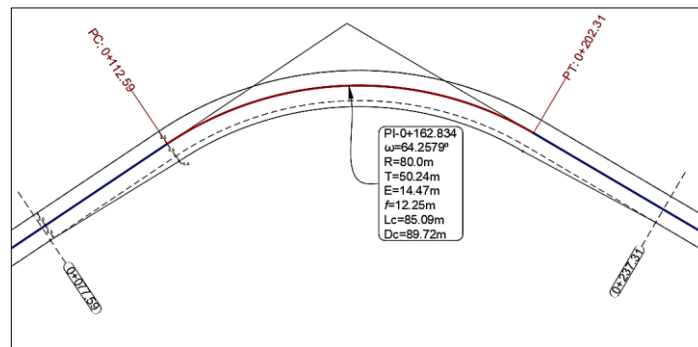
$$Dc=89.720m$$

Lc= Longitud de la cuerda (m)

$$Lc = 2 * R * \text{sen}\left(\frac{\omega}{2}\right)$$

$$Lc=85.091m$$

Ilustración 76: Parámetros de curvas simple en Civil 3D



Se observó que cada uno de los parámetros geométricos de la curva simple son correctos.

Peralte Según la relación del radio que se tiene para la categoría de camino:

$$25 \leq R \leq 350 \rightarrow e = 7\%$$

$$350 < R \leq 2500 \rightarrow e = 7\% - 6.08 * \left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1.3}$$

$$2500 < R \leq 3500 \rightarrow e = 2\%$$

$$3500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

$$R.\text{min}=80m \quad e=7\%$$

Longitud de desarrollo del peralte o transición del peralte

$$l = \frac{n * a * \Delta p}{\Delta}$$

l= Longitud de desarrollo del peralte (m)

n= Número de carriles

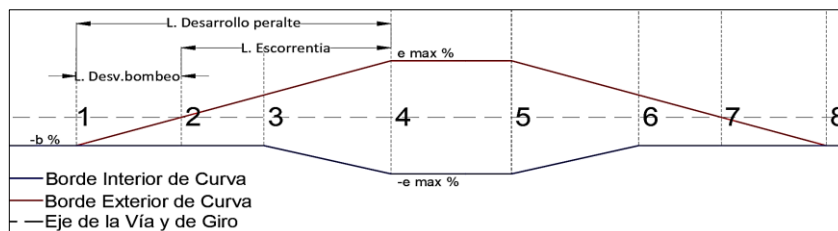
a= Ancho normal de un carril (m)

Δp = Variación total de la pendiente

Δ = Pendiente relativa al borde de la calzada, valores normales y máximos se dan en la tabla 18 de este documento y en la tabla 235 del manual de la ABC.

Desarrollo o transición del peralte

Ilustración 77: Desarrollo o transición del peralte



Longitud de desarrollo o transición del peralte = 45.0 m

Longitud de desvanecimiento del Bombeo = 10.0m

Longitud de escorrentía = 35.0m

% del desarrollo en la recta = 70%

% del desarrollo en la curva = 30%

Tabla 60: Replanteo del peralte de curva simple

Punto	Progresiva	Dist.	Dist.	Peralte	
		Parcial	Acum.	B.Der	B.Izq
1	0+078.09	0.0	0.0	-2.0	-2.0
2	0+088.09	10.00	10.0	-2.0	0.0
3	0+098.09	10.00	20.0	-2.0	2.0
4	0+123.09	25.00	45.0	-7.0	7.0
5	0+191.81	68.72	113.7	-7.0	7.0
6	0+216.81	25.00	138.7	-2.0	2.0
7	0+226.81	10.00	148.7	-2.0	0.0
8	0+236.81	10.00	158.7	-2.0	-2.0

Ilustración 78: Diagrama de peralte replanteado

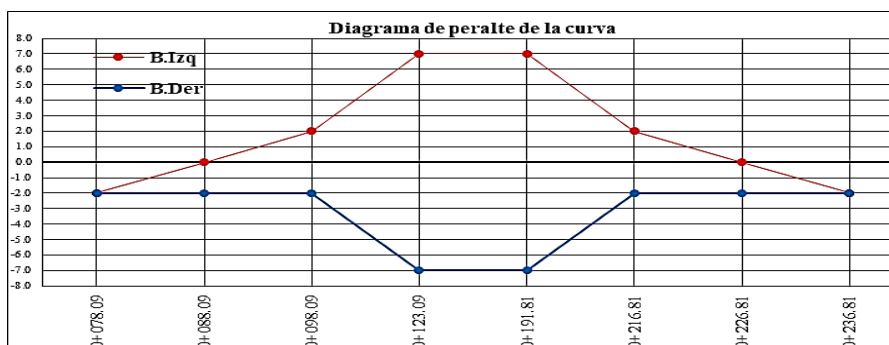
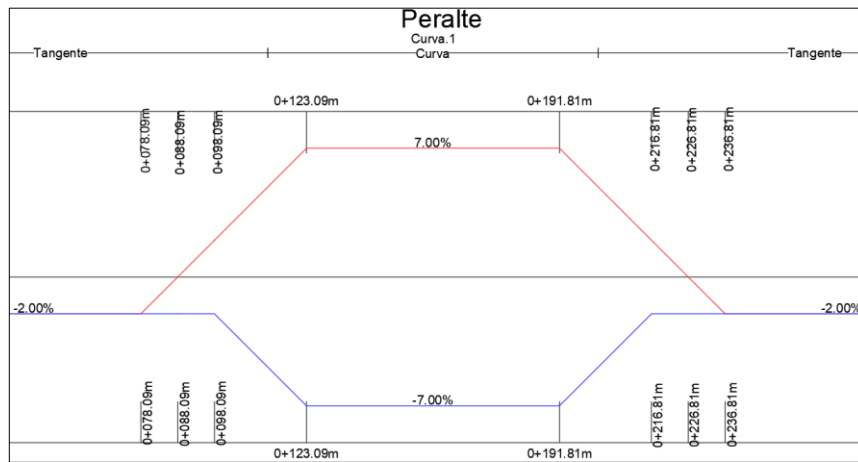


Ilustración 79: Diagrama de peralte curva simple en Civil 3D



Como se observó AutoCAD Civil 3D realiza de manera correcta el diagrama de peralte con la normativa de la ABC

Sobrancho: Según el vehículo tipo seleccionado para el diseño, las configuraciones de la geométrica de trazo se observa la tabla 22, para aplicar las ecuaciones necesarias el cálculo y el vehículo tipo.

Se tiene la ecuación:

$$E = ((L1^2 + L2^2) / R) - 0.20$$

L1= Distancia entre el parachoques delantero y último eje camión tractor.

L2= Distancia entre el pivote de mesa de apoyo y último eje del tándem trasero

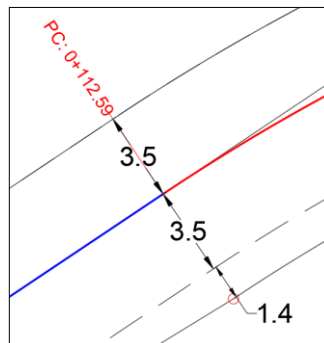
Vehículo tipo Semitrailer.

L1= 5.6 m

L2= 10 m

$$E = 1.4 \text{ m}$$

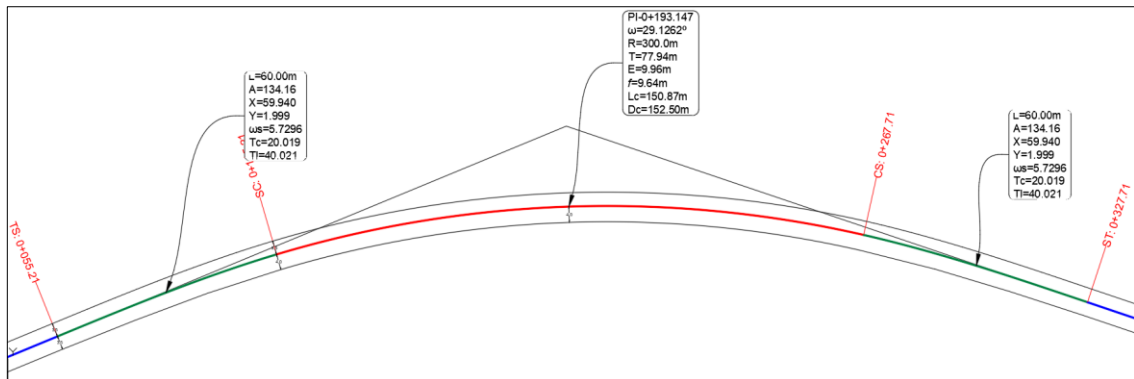
Ilustración 80: Sobrancho de la curva simple en civil 3D



Curva con espiral de enlace

Categoría	= Carretera
Velocidad	= 80 km/h
Radio empleado	= 300 m
Longitud de espiral	= 60 m
Parámetro de espiral	= 134.16
Deflexión de curva	= 64.257 °
Deflexión de espiral	= 64.257 °
Vehículo tipo	= Semitrailer Lt=16.4
Sentido de la curva	= Derecha
Bombeo	= -2%
Carril/Sentido	= 1
Ancho Carril	= 3.5m

Ilustración 81: Parámetros de curva con espiral de enlace en civil 3D



Para la definición de parámetros de la espiral el manual de la ABC plantea los siguientes criterios

Criterio A

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$100 \leq A \leq 300$ Cumple

Criterio B

$$A \geq (12 * R^3)^{0.25}$$

$A \geq 134.16$ Cumple

Criterio C

$$A \geq \left(\frac{n * a * e * R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

$$A \geq 144$$

Criterio D

$$A = \left(\frac{Ve * R}{46.656 * J} * \left(\frac{Ve^2}{R} - 1.27 * e \right) \right)^{1/2}$$

$$A=96 \text{ Cumple}$$

Peralte: Según la relación del radio que se tiene para la categoría de carretera:

$$250 \leq R \leq 700 \rightarrow e = 8\%$$

$$700 < R \leq 5000 \rightarrow e = 8\% - 7.3 * (1 - 700/R)^{1.3}$$

$$5000 < R \leq 7500 \rightarrow e = 2\%$$

$$7500 < R \rightarrow e = \text{Bombeo}$$

$$R=300\text{m} \quad e=8\%$$

Longitud de desarrollo del peralte o transición del peralte

$$l = \frac{n * a * \Delta_p}{\Delta}$$

Longitud de desarrollo o transición del peralte : 74 m

Longitud de desvanecimiento del Bombeo : 14 m

Longitud de escorrentía : 60 m

Tabla 61: Replanteo del peralte de curva con espiral de enlace

Punto	Progresiva	Dist. Parcial	Dist. Acum.	Peralte	
				B.Der	B.Izq
1	0+041.21	0	0	-2	-2
TS	0+055.21	14.00	14.00	-2	0
3	0+069.21	14.00	28.00	-2	2
SC	0+115.21	46.00	74.00	-8.00	8.00
CS	0+267.71	152.50	226.50	-8.00	8.00
6	0+313.71	46.00	272.50	-2	2
ST	0+327.71	14.00	286.50	-2	0
8	0+341.71	14.00	300.50	-2	-2

Ilustración 82: Diagrama de peralte replanteado con espiral de enlace

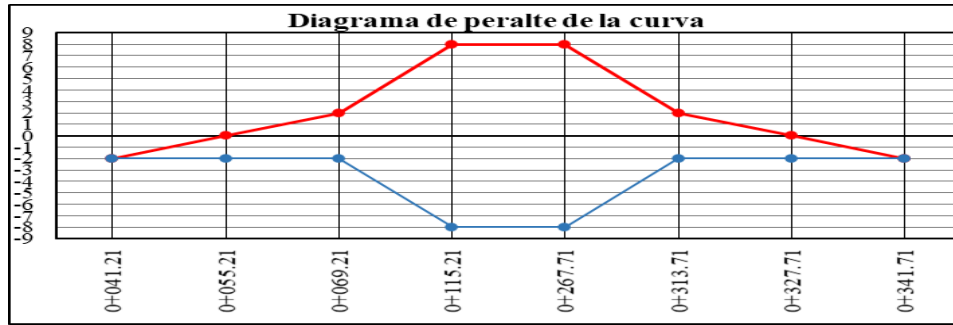
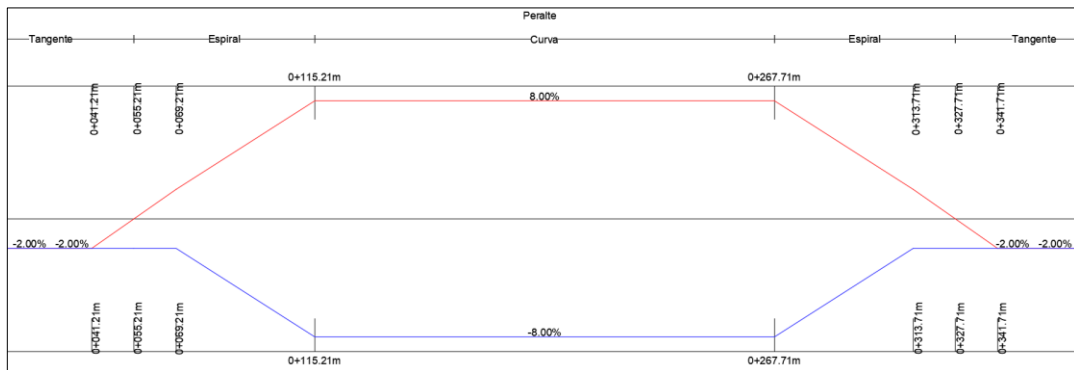


Ilustración 83: Diagrama de peralte con espiral de enlace en civil 3D



Sobrancho: Según el vehículo tipo seleccionado para el diseño, se tiene en la tabla 22 las ecuaciones necesarias del cálculo.

$$E = ((L^2 + L^2) / R) - 0.20$$

L1= Distancia entre el parachoques delantero y último eje camión tractor

L2= Distancia entre el pivote de mesa de apoyo y último eje del tándem trasero

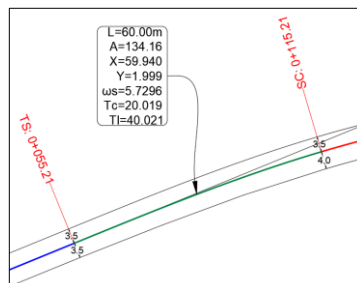
Vehículo tipo Semitrailer

L1= 5.6 m

L2= 10 m

E = 0.24 m asumiendo un 0.5 m

Ilustración 84: Sobrancho de curva con espiral de enlace



Comprobando que la normativa de la ABC está cargada el programa AutoCAD Civil 3D y se está ejecutando de la manera correcta.

4.3 Civil 3D y obras existentes

Se presenta situaciones con obras existentes, con el cual el diseño debe interactuar con las mismas y tomarlos como puntos de importancia en la planimetría y altimetría, las situaciones más comunes que se presentan son con otras vías pavimentadas y puentes.

Ilustración 85: Vía diseñada con una vía existente

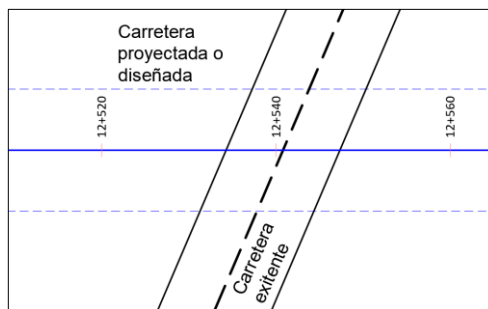
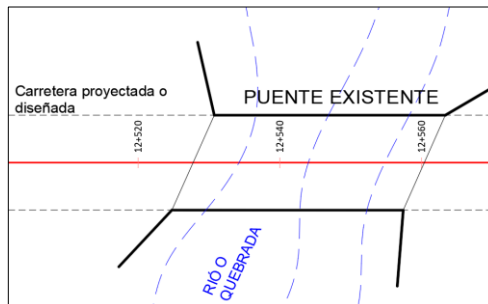


Ilustración 86: Vía diseñada con puente



Al modelar el corredor o la vía de diseño, esta debe considerar la vía existente para no cometer un error.

Ilustración 87: Modelado de la vía con otras existente

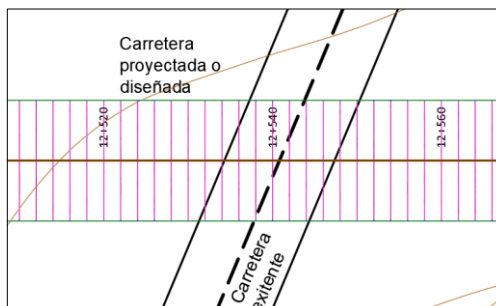
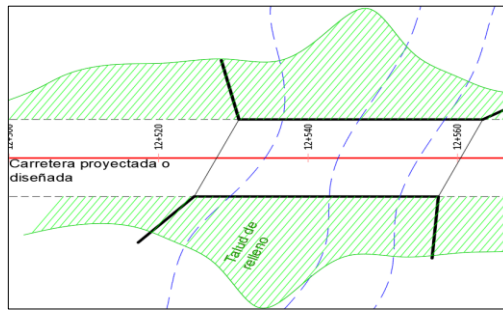


Ilustración 88: Modelado de la vía con el puente



Como se observa el civil 3D está modelado de manera incorrecta, en el primer caso considera remover la vía existente para la nueva, en la situación del puente considera un relleno que no es el correcto.

Civil 3D permite crear regiones para un mejor modelado de interacción con las obras existentes en el terreno, se crea regiones antes o después.

Ilustración 89: Creación de las regiones

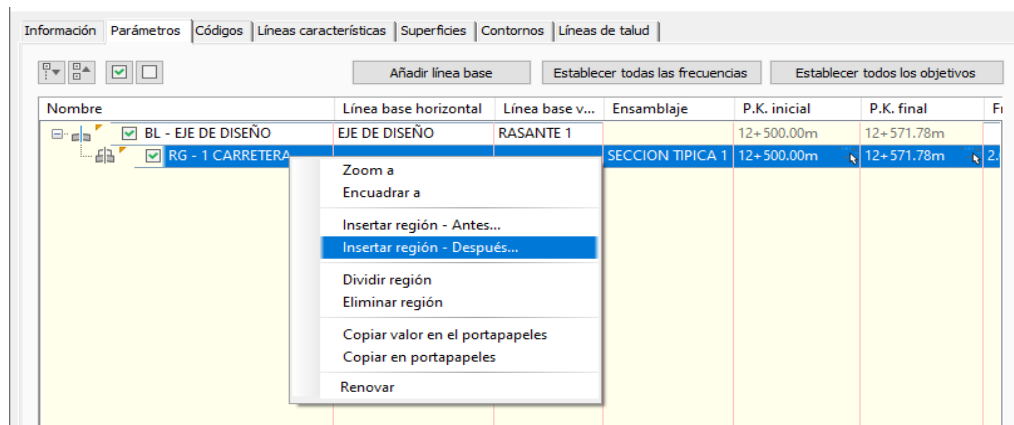


Ilustración 90: Progresivas de inicio y fin de las regiones

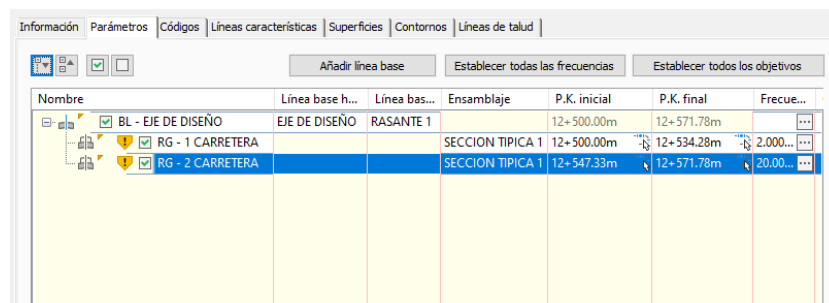
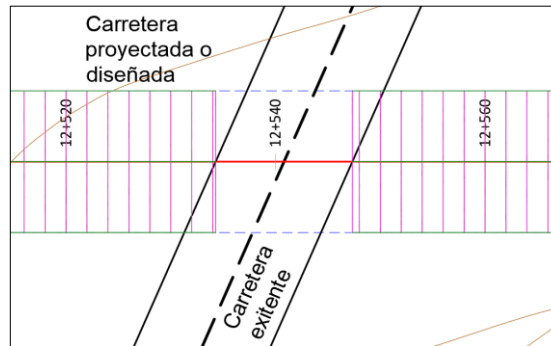
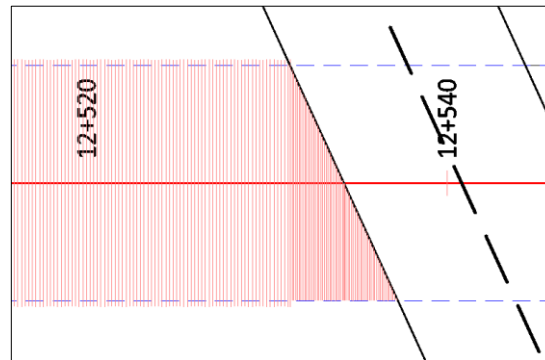


Ilustración 91: Modelado de las regiones



Se realiza las modificaciones necesarias con el objetivo de un mejor modelado y empalmar el diseño con la vía existente.

Ilustración 92: Modelado correcto



De esta manera se evitará los errores en la cuantificación de volúmenes y una adecuada interacción de la vía diseñada con las obras existentes en el terreno.

4.4 Resultados

Los resultados que se obtuvieron de la investigación se basan a los objetivos establecidos, también se elaboró videos tutoriales para el uso de la plantilla de diseño geométrico de carreteras, uso de la normativa de la ABC cargada al software Auto CAD Civil 3D y de aplicación o rutina de “Línea de Pelo” con la finalidad de medir o cronometrar el tiempo de demorar al realizar el diseño.

Línea de pelo

Sin Aplicación	Con Aplicación
35min/Km	20 min/km

Diseño geométrico con plantilla

Sin Plantilla DWT	Con Plantilla DWT
40 min/Km	30 min/km

Revisión de parámetros de diseño geométrico con normativa

Sin Normativa XML - Plantilla	Con Normativa XML + Plantilla
20 min/Km	10 min/km

4.5 Reportes de curvas horizontales y verticales

Curvas horizontales

Ver el Anexo 17

Curvas verticales

Ver Anexo 18

4.6 Señalización

La Señalización Vial cobra relevancia debido a la necesidad de mantener informado al conductor del vehículo acerca de las características de las vías por las que conduce, las funciones que cumple son las de: advertir, informar y orientar.







Señalización vertical

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre o adyacentes a la vía, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:


Señales preventivas: Las señales de advertencia de peligro (preventivas) tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Se identifican como base con el código SP.

Tabla 62: Señales preventivas vertical de la doble via Yacuiba Campo Pajoso

Descripción	Código	Imagen
Curva pronunciada a la izquierda	SP-03	 SP-03
Curva pronunciada a la derecha	SP-04	 SP-04
Intersección con otra carretera o camino.	SP-18	 SP-18
Empalme o desvió a la izquierda.	SP-19	 SP-19
Empalme o desvió a la derecha.	SP-20	 SP-20
Intersección de tipo rotonda.	SP-37	 SP-37
Puente	SP-44	 SP-44

Señales reglamentarias: Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como: las prohibiciones, restricciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito.

Tabla 63: Señales reglamentaria verticales de la doble vía Yacuiba Campo Pajoso

Descripción	Código	Imagen
Velocidad máxima	Sr-30	

Señales informativas: Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios del sistema vial, entregándoles información necesaria para que puedan llegar a sus destinos de la forma más segura, simple y directa posible.

Ilustración 93: Señales informativas de la doble vía Yacuiba Campo Pajoso



Señalización horizontal

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

De acuerdo con la función que cumplen, las demarcaciones se clasifican en:

Líneas longitudinales: Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo: pistas exclusivas de bicicletas o buses.

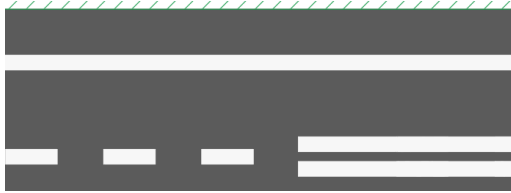
Líneas transversales: Tienen la función de definir puntos de detención y/o sendas de cruce de peatones y ciclistas, pueden ser de dos tipos; líneas de detención y líneas de cruce.

Líneas blancas discontinuas: Se utiliza para demarcar la separación de carriles de un mismo sentido de flujo, en donde sí es permitida la maniobra de adelantamiento.

Se dispondrán en tramos de una vía, en donde se permite reglamentariamente la maniobra de cambio de pista, desde una pista normal de circulación a otra también de circulación normal.

Línea blanca continua: la línea continua sobre la calzada significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella. Se prohíbe reglamentariamente el cambio de pistas en cruces

Ilustración 94: Tipos de líneas de la señalización horizontal



4.7 Análisis de intersecciones

El término intersección se usa aquí para denominar, en forma general, a los dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran en un mismo nivel, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellas circulan.

Se deben tener en cuenta factores que considerar para el diseño de las intersecciones. Estos factores se agrupan en 4 categorías básicas:

- Factores humanos
- Factores de Tránsito
- Factores físicos
- Factores Económicos

Denominación o clasificación de intersecciones

Los tipos básicos de intersección se definen por el número de ramas confluentes y por su forma de operar con respecto a los conflictos de trayectorias.

Trazado en planta: En caso que la intersección sea de poca importancia, escaso tránsito o que el costo no se justifique el diseño responderá a los mínimos y estará gobernado por el giro mínimo del vehículo tipo seleccionado y a velocidades de 15 km/h o menores.

El diseño del borde para el giro que se recomienda ABC proviene de la AASHTO 1994.

Para las siguientes condiciones de operación:

Velocidad de giro hasta los 15 km/h

Distancia mínima de las ruedas al borde del pavimento de 30 cm.

Giros a la derecha y a la izquierda

Vehículos considerados

L: livianos

C: camión simple

VA1: tracto camión con semi-remolque corriente

VA2: tracto camión con semi-remolque para transporte de vehículos

La elección de los parámetros mínimos depende del tipo del vehículo y facilidades que debería otorgársele a las maniobras.

Ilustración 95: Tipos de intersecciones

DE TRES RAMALES	EMPALME EN T	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
	EMPALME EN Y	SIMPLE 	CANALIZADAS 		
DE CUATRO RAMALES	INTERSECCIÓN EN +	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
	INTERSECCIÓN EN X	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
ESPECIALES	EN ESTRELLA 			ROTONDA 	

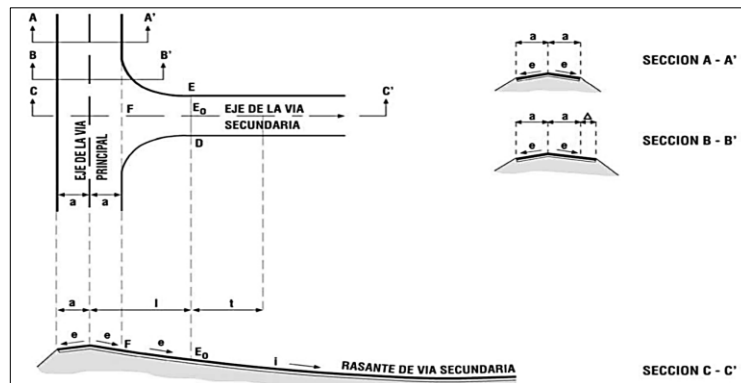
VÉASE FIGURA 6.3-1

Tabla 64: Parámetros mínimos de giro en intersecciones

Vehículo tipo	Angulo de giro	Radio curvatura simple	Radio de curva simple con cuña		
	(g)	(m)	radio (m)	retranqueo (m)	cuña (m:m)
L	35	18	-	-	-
C		35	-	-	-
VA1		85	-	-	-
VA2		115	67	1	15 : 1
L	50	15	-	-	-
C		25	-	-	-
VA1		60	40	-	15 : 1
VA2		76	43	0.9	15 : 1
L	65	12	-	-	-
C		18	-	-	-
VA1		48	35	0.9	15 : 1
VA2		60	43	1.3	15 : 1
L	85	10	8	-	10 : 1
C		17.9	15	-	10 : 1
VA1		-	30	1.1	15 : 1
VA2		-	43	1.3	20 : 1
L	100	9	6	0.6	10 : 1
C		15	13	0.6	10 : 1
VA1		-	27	1.1	20 : 1
VA2		-	36	1.3	30 : 1
L	115	-	6	0.8	8 : 1
C		-	12	0.6	10 : 1
VA1		-	26	1.2	20 : 1
VA2		-	35	1.3	30 : 1
L	135	-	6	0.8	10 : 1
C		-	10	1	10 : 1
VA1		-	22	1.2	20 : 1
VA2		-	31	1	25 : 1
L	150	-	6	0.6	15 : 1
C		-	10	1	8 : 1
VA1		-	18	1.4	15 : 1
VA2		-	25	1.6	20 : 1
L	165	-	6	0.5	10 : 1
C		-	10	1.2	8 : 1
VA1		-	15	1.7	8 : 1
VA2		-	19	1.6	10 : 1
L	200	-	8	0.2	20 : 1
C		-	10	0.5	10 : 1
VA1		-	12.5	0.3	10 : 1
VA2		-	16	4.2	10 : 1

Definición de la elevación: Cuando una o más vías se cruzan es preciso empalmarlas adecuadamente, para las condiciones mínimas de drenaje y cuidando los peraltes para evitar el estancamiento de agua.

Ilustración 96: Condición de elevación para intersecciones



El tramo Yacuiba-Campo Pajoso cuenta con muchas intersecciones y empalmes ya que parte de la misma se encuentra en zona urbana, por ello se aborda solo los tipos de intersección más comunes y frecuente en la ruta.

Ilustración 97: Empalme tipo T en el tramo Yacuiba Campo Pajoso

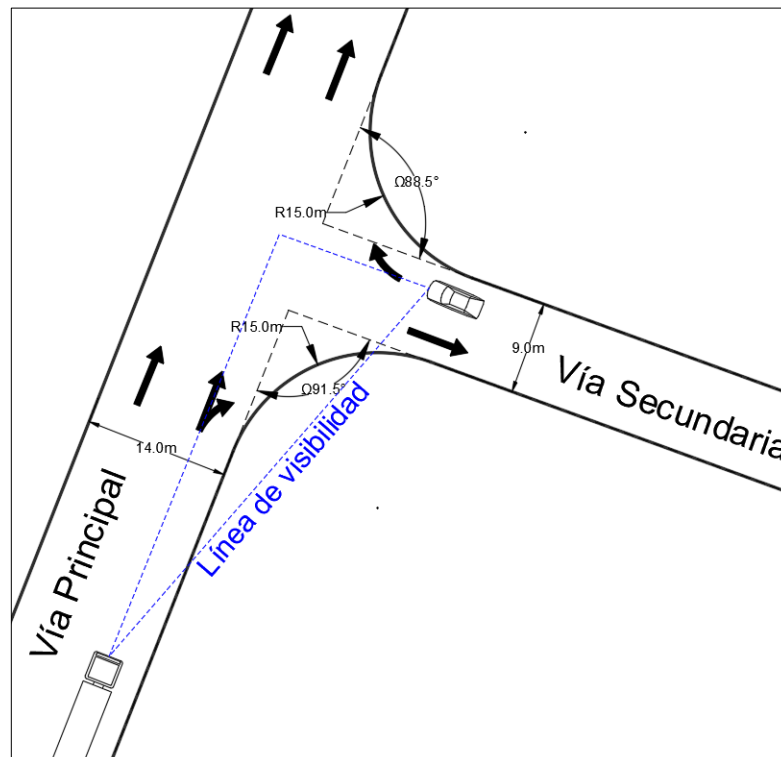


Ilustración 98: Intersección tipo T en el tramo Yacuiba Campo Pajoso

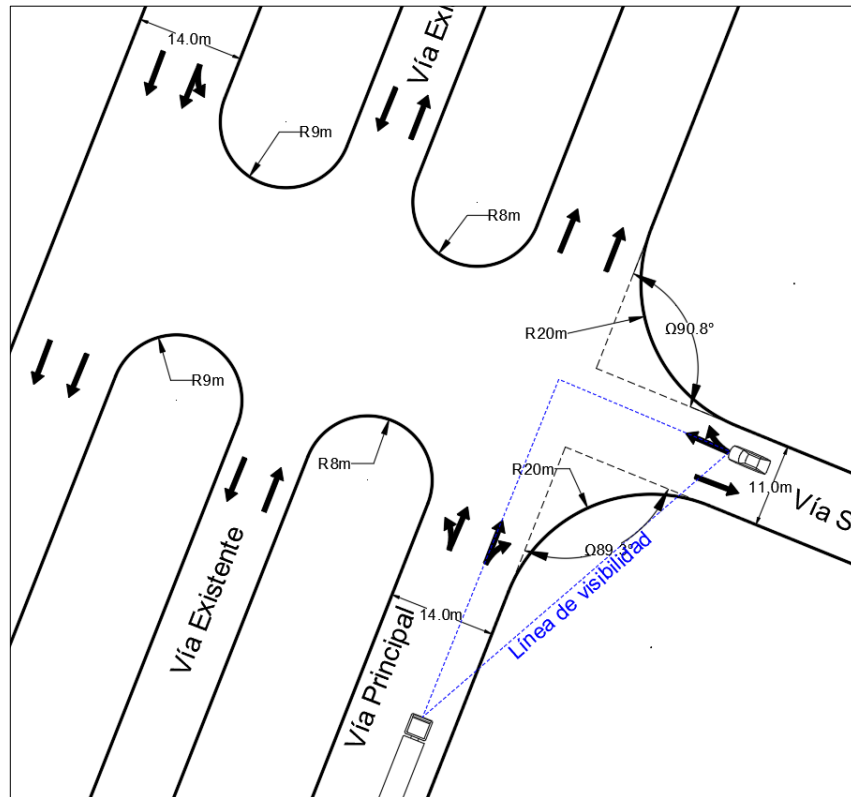


Ilustración 99: Intersección tipo X en el tramo Yacuiba Campo Pajoso

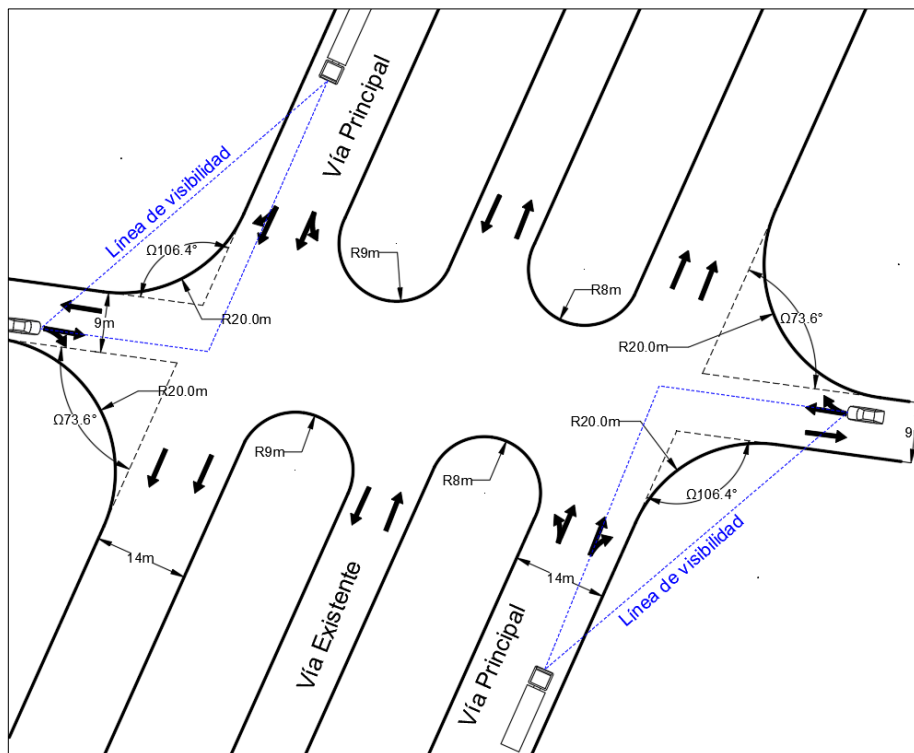
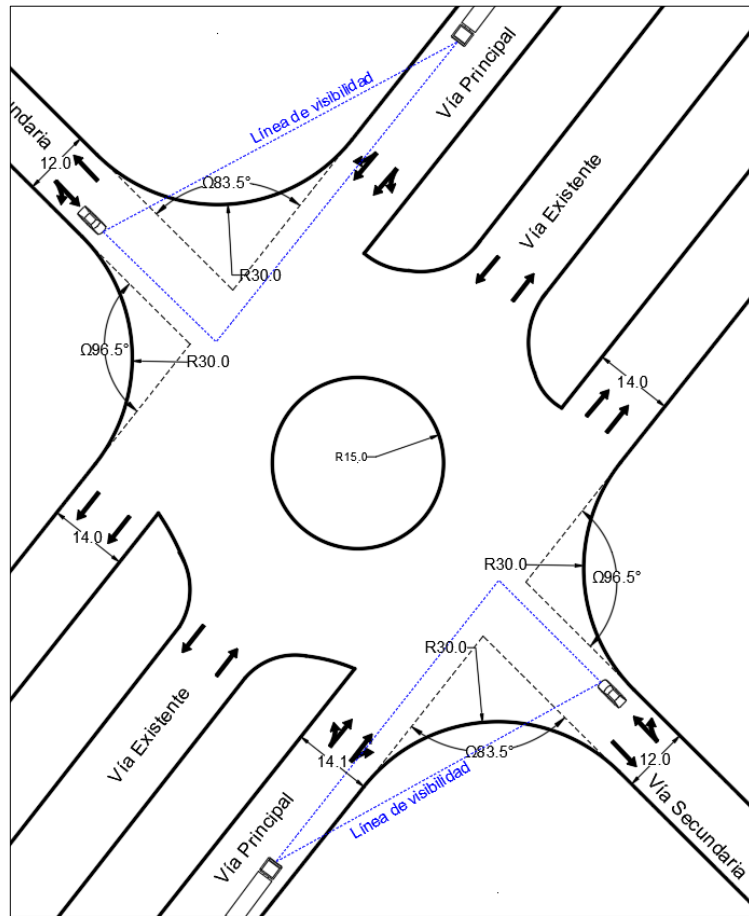


Ilustración 100: Intersección tipo rotonda en el tramo Yacuiba Campo Pajoso



4.8 Lista de videos para el diseño geométrico de carreteras

Creación de superficie: este video está enfocado al modelado o representación gráfica del terreno natural, a partir de levantamiento topográficos o curvas de nivel proporcionado también a una georreferencia de los datos del levantamiento y posibles correcciones que se tuvieran que hacer para un mejor modelado terreno.

Creación del alineamiento horizontal: este video está orientado a la forma de creación de alineamiento (eje de la vía) haciendo uso de la aplicación de línea de pelo para un mejor manejo de la pendiente, uso de la normativa de la ABC, tipos de curvas, diagrama de peralte, sobre ancho de curvas, corrección de la geometría y reportes de la geometría.

Creación del alineamiento vertical: este video está enfocado a la forma de crear un perfil longitudinal del eje de la vía, perfil de diseño, aplicación de la normativa de la ABC,

curvas verticales y correcciones que se tuvieran que hacer junto con los reportes de la geometría vertical.

Creación de la obra lineal: este video está orientado al modelado de la vía con todos los componentes que son necesarios emplear, a la frecuencia del modelado en las curvas y rectas, creación de la superficie de la obra lineal y correcciones que sean necesarias.

Cómputos de volúmenes: este video está enfocado a cuantificar el movimiento de tierras que se debe realizar para emplazar la carretera con su respectivo diagrama de masas, los volúmenes de materiales de la plataforma y de hormigones de cunetas si fuese necesarios.

Creación de planos: en este video se vera de forma clara y sencilla la elaboración de una plantilla de ploteo o impresión para los planos de planta y perfil (bimodales) y planos de secciones transversales con la información mínima necesaria.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño geométrico de la doble vía Yacuiba-Campo Pajoso en software AutoCAD Civil 3D con normativa ABC, que contempla dos ejes paralelos con plataforma de 14 m, con bermas de 1 m y 2 m, con un bombeo de carril de 2.5 % en una longitud de 11.8 km.
- El archivo Xml de la normativa ABC ayuda a ser más productivos al momento de diseñar y verificar los parámetros mínimos recomendado horizontalmente como verticalmente dentro del AutoCAD Civil 3D
- La plantilla elaborada es de gran ayuda en el proceso de diseño, ya que esta ayuda a reducir el tiempo empleado para la configuración necesaria de estilos de etiquetas, grosores de línea, colores y altura de texto para que estos sean legibles en cada elemento.
- La implementación de un formato de presentación de planos para el diseño geométrico de carreteras en la UAJMS, incorpora una reducción de tiempo en el dibujo y mejora la distribución del espacio en el plano, como también contar con los elementos necesarios con la altura de textos adecuados que ayuden a una mejor lectura del mismo.
- Contar con la plantilla, archivo Xml de la normativa ABC del diseño geométrico de carreteras junto con la presentación de planos ofrece una ventaja a reducir el tiempo hasta un 20 ó 30 %.
- Los videos realizados representan un gran apoyo en el proceso de aprendizaje y manejo AutoCAD Civil 3D orientado en el diseño geométrico de carreteras, para todos los estudiantes de ingeniería civil.
- Al comparar las normativas se concluye que la normativa ABC se adecua mejor al país, por las condiciones de orografía y topografía que presenta.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer la implementación de los archivos elaborados para futuros diseños geométricos de carreteras con la normativa de la ABC, teniendo en cuenta los criterios y la experiencia de los especialistas.
- La constancia y la práctica en el uso del programa para lograr una mejor eficacia a la hora de la elaboración de proyecto de diseño geométrico de carreteras aplicando la normativa de la ABC.
- Incluir en la materia de Carreteras 1 el uso de software como AutoCAD Civil 3D y otros que se usan de manera internacional para enriquecer el conocimiento y las habilidades de los futuros ingenieros.
- Es importante que los ingenieros involucrados en el diseño de carreteras estén en constante actualización a las nuevas herramientas disponibles para el diseño asistido por computadora y capacitados en el uso de las mismas.
- Considerar el formato de presentación de los planos como estándar de la institución en los diseños geométricos de carreteras.

