

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

“Estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de Sudamérica para actualizar el Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018”

Área de investigación:

Transportes

Autor:

Br. Chávez Castro, Pablo Armando

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Rodríguez Ramos, Mamerto

Secretario: Ing. Vertiz Malabrigo, Manuel

Vocal: Ing. Lujan Silva, Enrique

Asesor:

Ing. Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

Código Orcid: 0000-0003-2143-1566

TRUJILLO - PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/10/18

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

“Estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de Sudamérica para actualizar el Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018”

Área de investigación:

Transportes

Autor:

Br. Chávez Castro, Pablo Armando

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Rodríguez Ramos, Mamerto

Secretario: Ing. Vertiz Malabrigo, Manuel

Vocal: Ing. Lujan Silva, Enrique

Asesor:

Ing. Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

Código Orcid: 0000-0003-2143-1566

TRUJILLO - PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/10/18

DEDICATORIA

“A Dios por darme la vida, salud y las fuerzas sin las cuales sería imposible llegar a mis metas”

“Con amor y gratitud a mi madre Consuelo por su apoyo durante todos mis años de vida y estudios, y a mi padre Hubner que está en el Cielo”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la plana docente de la Escuela de Ingeniería Civil, por sus enseñanzas.

También hago mención especial a mi asesor Ing. Tito Alfredo Burgos Sarmiento por confiar en mi tesis y apoyarme siendo mi asesor

RESUMEN

El presente estudio busca establecer los estándares de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuados para actualizar el manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018, identificando y comparando el vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada en las normas de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile

Por lo cual se realizó la búsqueda de las normas de diseño geométrico de carreteras internacionales y nacional, se elaboraron fichas técnicas en cuanto al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada, realizando de esta manera cuadros comparativos de las distintas normas de los otros países de Sudamérica y la norma de diseño geométrico del Perú. Seguidamente se realizó el análisis de los cuadros comparativos con el fin de lograr el sustento, con el cual se realizó la propuesta de actualización.

Además, una de las conclusiones es que la propuesta de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuada para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018 establece condiciones para la elección del vehículo de diseño contenido en 2.2.3.1. del manual de Bolivia, referente al sobreebanco en curvas se propone como referencia de estandarización al sobreebanco en curvas según tipo de vehículo contenido en 2.2.3.2. del manual de Bolivia y respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada se propone mantener el tiempo de 2.5 segundos y que solo se mantengan los cuadros que usen tiempo de 2.5 segundos respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, así como lo hacen las normas de Ecuador y Colombia, nos referimos a que la gráfica que se muestra de la Figura 3, debe ser retirada del manual DG 2018 para evitar la ambigüedad. Siendo la propuesta de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuada para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018, permite validar la hipótesis planteada.

Palabras clave: Estandarización de diseño geométrico, sobreebanco en curvas, tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, vehículo de diseño.

ABSTRAC

This study pursues to establish the geometric design standards of other South American countries suitable for updating the Highway Manual - Geometric Design DG 2018, identifying and comparing the design vehicle, curve over width and reaction perception time with respect to stopping sight distance in the standards of Peru, Bolivia, Ecuador, Colombia, and Chile.

Therefore, a search of the geometric design standards of international and national highways was carried out, and technical data sheets were prepared regarding the design vehicle, curve over width and reaction perception time with respect to stopping visibility distance, thus making comparative tables of the different standards of the other South American countries and the geometric design standard of Peru. Afterwards, the comparative tables were analyzed to achieve the support, with which the updating proposal was made.

In addition, one of the conclusions is that the geometric design standardization proposal of other South American countries suitable for the update of the Highway Manual-Geometric Design DG 2018 establishes conditions for the choice of the design vehicle contained in 2.2.3.1. of the Bolivian manual, regarding the over-width in curves, it is proposed as a standardization reference to the over-width in curves according to the type of vehicle contained in 2.2.3.2. of the Bolivian manual and regarding the reaction perception time referring to the stopping visibility distance, it is proposed to maintain the time of 2.5 seconds and only maintain the tables that use time of 2.5 seconds regarding the reaction perception time referring to the stopping visibility distance, as well as the standards of Ecuador and Colombia, we refer that the graph shown in Figure 3, should be removed from the DG 2018 manual to avoid ambiguity. Being the geometric design standardization proposal of other South American countries suitable for the update of the Highway Manual-Geometric Design DG 2018, it allows validating the hypothesis raised.

Key words: Geometric design standardization, over-width in curves, reaction perception time referring to stopping sight distance, design vehicle.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento a todos los requisitos que se establecen en el reglamento de Grados y Títulos de la de la Universidad Privada Antenor Orrego y los establecidos por la facultad de Ingeniería Civil, presento ante ustedes la presente tesis titulada: “ESTANDARIZACIÓN DE DISEÑO GEOMÉTRICO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE OTROS PAÍSES DE SUDAMÉRICA PARA ACTUALIZAR EL MANUAL DE CARRETERAS - DISEÑO GEOMÉTRICO DG 2018” para optar por el título profesional de ingeniero civil.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRAC.....	iv
PRESENTACIÓN.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación	1
1.1.1. Realidad Problemática.....	1
1.1.2. Formulación del problema	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.3. Justificación del estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA	4
2.1. Antecedentes del estudio	4
2.1.1. Antecedente Internacional	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
2.2. Marco teórico	5
2.2.1. Diseño geométrico DG 2018 – Perú	5
2.2.2. Normas de diseño geométrico de carreteras 2003 – Ecuador	12
2.2.3. Manual de diseño geométrico 2007 – Bolivia.....	18
2.2.4. Manual de diseño geométrico de carreteras 2008 – Colombia	30
2.2.5. Manual de carreteras 2018 – Chile	37

2.3.	Marco conceptual.....	49
2.4.	Sistema de Hipótesis	50
2.4.1.	Hipótesis.....	50
2.4.2.	Variables e indicadores (cuadro de operacionalización de variables)	50
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	52
3.1	Tipo y nivel de investigación	52
3.1.1.	Tipo de investigación	52
3.1.2.	Nivel de investigación	52
3.2	Población y muestra de estudio	52
3.2.1.	Población.....	52
3.2.2.	Muestra	52
3.3.	Diseño de investigación	52
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.5.	Procedimientos y análisis de datos	53
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	55
4.1.	Análisis e interpretación de resultados.....	55
4.1.1.	Revisión de las normas de otros países de Sudamérica.....	55
4.1.2.	Cuadros comparativos	59
4.2.	Propuesta de actualización del manual DG 2018	63
4.3.	Docimasia de hipótesis.....	65
V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	66
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60 m de ancho.....	6
Tabla 2 Factores de reducción del sobreancho para anchos de calzada en tangente de 7.20m.....	10
Tabla 3 Distancia de visibilidad de parada (metros), en pendiente 0%.....	11
Tabla 4 Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros).....	11
Tabla 5 Espacio lateral que necesita cada vehículo asumido.....	16
Tabla 6 Distancia de visibilidad mínima para parada de un vehículo Criterio de Diseño: Pavimentos mojados y Gradiente Horizontal (0 %).....	17
Tabla 16 Valor de C en función del ancho de la calzada.....	35
Tabla 17 Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel.....	37
Tabla 18 Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente.....	37
Tabla 19 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 pistas.....	40
Tabla 20 Ensanche de la calzada E(m) (permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2).....	41
Tabla 21 Ensanche de la calzada en caminos con $V_p \leq 60$ km/h alternativa con calzada en recta 7,0 m ($n=2$) y $h_1 = 0,45$ m; $h_2 = 0,05$; $0,35 \text{ m} \leq E \leq 3,0 \text{ m}$	42
Tabla 22 Desarrollo del sobreancho para curvas circulares sin curva de enlace....	46
Tabla 23 Distancia de Frenado en horizontal "DF" ($DF = 0,555 V + 0,00394 V^2/R$).....	48
Tabla 24 Tabla numérica equivalente.....	49
Tabla 25 Operacionalización de las variables.....	51
Tabla 26 Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador, referente al vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción (T_p) referente a la distancia de visibilidad de parada (D_p).....	55

Tabla 32 Comparación de tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de arada.....	62
Tabla 33 Propuesta de actualización de diseño geométrico respecto a vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y T_p referente a D_p	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sobreechanco en las curvas.....	8
Figura 2 Valores de sobreechanco en función a "L" del tipo de vehículo de diseño.....	9
Figura 3 Distancia de visibilidad de parada.....	12
Figura 4 Esquema para determinar el sobreechanco de un carril de tránsito en una curva.....	13
Figura 5 Imagen de los vehículos 2DA, 2DB, 2S1 y 2S2.....	15
Figura 6 Transición del sobreechanco a lo largo de la clotoide de enlace y demarcación.....	26
Figura 7 lustración gráfica.....	29
Figura 8 Sobreechanco en las curvas.....	31
Figura 9 Sobreechanco de la curva para un carril en carreteras Terciarias.....	33
Figura 10 Sobreechanco requerido para una curva al ser recorrida por un vehículo articulado categoría 3S2.....	35
Figura 11 Transición del sobreechanco a lo largo de la clotoide de enlace y demarcación.....	45
Figura 12 lustración gráfica.....	48
Figura 13 Flujo-grama de procedimientos de relación de datos.....	53

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Realidad Problemática

A nivel mundial son muy importantes las construcciones de carreteras, como menciona la Ingeniera “Verónica Flores de León, presidenta del noveno Consejo Directivo de la Asociación Mexicana del Asfalto en la Universidad de las Américas Puebla, al sostener que las carreteras son el activo público de mayor valor en los países, ya que representan el sistema de transporte más importante, debido a que a través de la red se transporta el 90% del movimiento de pasajeros y el 70% por ciento del movimiento de carga, lo que ubica al transporte como una pieza fundamental para el desarrollo de la economía de los países” (UDLAP, 2015).

Pero en estas carreteras se sabe que existe una gran cantidad de accidentes de tránsito, como lo evidencia la Organización Mundial de la Salud al mencionar que “los progresos han sido insuficientes en abordar la falta de seguridad en las vías de tránsito del mundo” (OMS, 2018). Pero no necesariamente los accidentes son por causa de los conductores, como sostiene el Dr. Martin Diego Pirota Abogado especialista en derecho de daños, al mencionar que existe un “postulado que el 90% de los accidentes de tránsito son causados por fallas humanas, cuando en realidad un número importante de errores y sus terribles consecuencias, son inducidos o provocados por el defectuoso diseño, construcción o mantenimiento de las calles y carreteras o falta de señalización adecuada” (Pirota, 2008).

Además, en nuestro país existen diversidad de accidentes, como lo evidencia las vías con mayor cantidad de muertes, las cuales son 135 muertes en la vía Panamericana Norte, 155 muertes en la vía Panamericana norte, 248 muertes en la vía Penetración Sur, 92 muertes en la vía Penetración centro, 79 muertes en la vía Penetración Norte y 17 muertes en la vía carretera central (PNP, 2016 citado en Falen, 2016). Asimismo, en el primer semestre del año 2020 se determinó como uno de los lugares de ocurrencia de siniestros, más frecuentes a las carreteras con 4288 siniestros (MTC, 2020).

Así mismo en el año 2018 se produjo un trágico accidente en la autopista del Pasamayo el cual fue causado por el choque de un bus (vehículo rígido) con un tráiler (vehículo articulado) en la curva del diablo, cuya cifra al encontrar los cuerpos de dos mujeres en el acantilado del Pasamayo llegó a 52 muertos (El comercio, 2018). Ante esta realidad el Ingeniero Ricardo Zevallos en la conferencia sobre

Normas Técnicas de Construcción y Diseño de Carreteras sostiene que cabe la pregunta si esta vía tendría el sobreecho necesario, y si se vuelve a diseñar la norma deja al criterio, pues no indica pautas ni en qué circunstancias se debe diseñar con un vehículo articulado (TVial Oficial, 2018).

Aún más, siete personas fallecieron en un choque de un vehículo articulado con un rígido en la carretera central en la Oroya (América Noticias, 2013), causado por el vehículo articulado al estar regresando de una curva a su carril (TVial Oficial, 2018).

Así mismo existen diversos accidentes de vehículos articulados con rígidos en curvas. Pero al ser el vehículo de diseño según la norma técnica DG - 2018 el camión y o ómnibus (vehículo rígido), entonces cabe la pregunta del Ingeniero Ricardo Zevallos al mencionar que ¿a partir de qué momento se puede usar como vehículo de diseño un semirremolque es decir vehículo articulado?, el manual DG-2018 no lo indica ni establece los parámetros para responder a esta pregunta y aún más, al tener diseños para vehículos rígidos, esto causa que cuando giran los vehículos articulados se ven en la necesidad de invadir el otro carril. A esto sumado a la ambigüedad al proponer una distancia de visibilidad de parada con un tiempo de 2.5 segundos, pero al momento de establecer las tablas aparezca aun la tabla que usa 2 segundos (TVial Oficial, 2018).

Además, debido a que para nuestro país es importante salvaguardar las vidas de las personas que transitan en sus vehículos en las vías como lo indica en su plan estratégico institucional 2018 – 2021 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones al mencionar que uno de sus objetivos estratégicos es reducir las consecuencias fatales derivadas de los siniestros viales en la población nacional (MTC, 2018).

Así mismo el Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018) sostiene que “la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación y es necesario que sea revisada y actualizada periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del MTC”.

Por lo que cabe cuestionarse, ¿existirá la necesidad de una actualización de diseño geométrico, para modificar la norma actual del MTC? y ¿en base a que estándares se podría actualizar la norma del MTC?

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los estándares de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuados para actualizar el manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Establecer los estándares de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuados para actualizar el manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar el vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada en las normas de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile
- Comparar el vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada en las normas de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile.
- Determinar las propuestas de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018

1.3. Justificación del estudio

Desde el punto de vista científico la presente investigación se justifica porque mediante la estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de América se busca llegar a nuevos conocimientos de actualización y soluciones en el área de transportes y comunicaciones. Lo cual responde a lo mencionado en la DG 2018 al sostener que la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación y es necesario que sea revisada y actualizada periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del MTC.

Además, desde el punto de vista social la presente investigación es justificable debido a que este estudio busca contribuir mediante la actualización de la norma a reducir la cantidad de accidente vehiculares.

También por su vigencia la presente investigación se justifica porque en la actualidad nuestro país en el MTC tiene como objetivo estratégico 2018 – 2021

reducir las consecuencias fatales derivadas de los siniestros viales en la población nacional.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedente Internacional

Montoya y Cárdenas (2020), en su tesis titulada: “Propuesta de modificación del sobreancho mínimo requerido para el vehículo c3s2 en el diseño de vías en Colombia”, para optar el título de magíster en infraestructura vial. Algunas de las conclusiones a las que llego son: Que respecto a “curvas Espiral-Espiral se evidencia que para todas las velocidades evaluadas para las deflexiones de 20° y 30° no se hace necesario contar con un parámetro de sobreancho y que solo a partir de una deflexión de 60° para todas las velocidades de diseño se requiere contar con un valor para el parámetro estudiado. Adicionalmente, se observa que para una misma deflexión a medida que incrementa la velocidad de diseño el sobreancho necesario se hace menor y a su vez, para una misma velocidad a medida que incrementa el ángulo de deflexión de la curva se hace necesario un mayor sobreancho”. Así mismo para curvas Espiral-Circulo-Espiral se evidencia que para las deflexiones de 20° con velocidades de 40km/h a 60km/h y velocidad de 40 km/h entre deflexiones de 30° a 50°, se presenta la nota: “No es posible efectuar la curva”, es decir no se pudo trazar en civil. Además, con los cálculos obtenidos, las evidencias encontradas, se efectuó una herramienta académica por medio del software Microsoft Visual Studio 2019 en la versión gratuita community para estudiantes y colaboradores, la cual busca efectuar el cálculo del sobreancho basado en las metodologías planteadas en la investigación, que permitan que el diseñador pueda comparar de manera directa los valores obtenidos de sobreancho y así poder efectuar un diseño geométrico más óptimo y de mayor eficacia, salvaguardando la seguridad de los usuarios y la viabilidad del proyecto desde el área ambiental al ver reducida la sección transversal de diseño”.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Quispe y Poma (2019), en su tesis titulada: “Norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables para modificar la norma del MTC a través del análisis de estándares de otros países”, para optar el título profesional de Ingeniero civil de la Universidad Ricardo Palma. Algunas de las conclusiones a las

que llego son: Que se “efectuó el análisis de los manuales de Etiopía, Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia, Paraguay, Brasil, Austria, EE.UU. y Perú, en cuanto a las variables de Sección Transversal (carril y berma), Alineamiento Horizontal (Radio mínimo) y Alineamiento Vertical (pendiente) demostrando que es posible proponer una norma de estandarización de diseño geométrico para trochas carrozables con un IMD menor a 200 veh/día, e incluir esta propuesta como guía en las normas del MTC-2018 ya que para este tipo de vías no especifica criterio de diseño. Además, las normas de Chile, Bolivia y Paraguay son iguales”.

En la Universidad Ricardo Palma, la tesis titulada “Normas de diseño geométrico vial en Sudamérica aplicado a vías de Evitamiento en el Perú” desarrollado por Galvez y Vasquez (2019), para optar el título profesional de Ingeniero civil. Algunas de sus conclusiones son: Que se determinó “los criterios generales, parámetros y disposiciones generales de diseño geométrico, estudiando las normas de diseño geométrico de Sudamérica, lo cual, al contrastar las normas de Ecuador, Colombia, Chile y Perú, se concluyó que la norma del Perú es similar y conservadora. Además, bajo la contrastación realizada, se concluyó que el manual de Chile es tomado como referencia para la elaboración de parámetros de diseño en Ecuador, la norma de Colombia coincide con la norma peruana; a su vez todas estas normas son adaptadas del manual AASHTO”.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Diseño geométrico DG 2018 – Perú

2.2.1.1. Vehículo de diseño

“Al seleccionar el vehículo de diseño hay que tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía. Normalmente, hay una participación suficiente de vehículos pesados para condicionar las características del proyecto de carretera. Por consiguiente, el vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses)” (MTC, 2018).

2.2.1.2. Sobreancho en las curvas

- Necesidad de sobreancho

“La necesidad de proporcionar sobreancho en una calzada, se debe a la extensión de la trayectoria de los vehículos y a la mayor dificultad en mantener el vehículo dentro del carril en tramos curvos.

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos que circulan habitualmente por la carretera, ésta debe tener un sobreebanco con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (holguras), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreebanco requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las holguras teóricas adoptadas (valores medios). El sobreebanco no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la berma.

Las holguras teóricas en recta y en curva ensanchada, consideradas para vehículos comerciales de 2.6 m de ancho, según el ancho de una calzada se aprecian en la tabla 1

Tabla 1

Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60 m de ancho.

Calzada de 7.20 m		Calzada de 6.00 m	
En recta	En curva ensanchada	En recta	En curva ensanchada
h_1 0.5 m	0.6 m	0.3 m	0.45 m
h_2 0.4 m	0.4 m	0.1 m	0.05 m
h_{2ext} 0.4m	0.0 m	0.1 m	0.0 m

Nota. Donde: h_1 : holgura entre cada vehículo y el eje demarcado, h_2 : holgura entre la cara exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior del carril por el que circula (en recta) o de la última rueda de un vehículo simple o articulado y el borde interior de la calzada en curvas.

h_{2ext} : holgura entre el extremo exterior del parachoques delantero y el borde exterior de la calzada, $h_{2ext} \approx h_2$ en recta y $h_{2ext} = 0$ en curvas ensanchadas.

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

Las holguras en curvas ensanchadas son mayores en calzadas de 7.20 m respecto de las de 6.00 m, no sólo por el mayor ancho de calzada, sino por las mayores velocidades de circulación que en ellas se tiene y por el mayor porcentaje de vehículos comerciales de grandes dimensiones” (MTC, 2018).

- Desarrollo del sobreebanco

“Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobreebanco debe desarrollarse gradualmente a la entrada y salida de

las curvas. En el caso de curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobreecho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. En las curvas con espiral, el sobreecho se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral. Normalmente la longitud para desarrollar el sobreecho será de 40 m. Si la curva de transición es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m, antes del principio de la curva circular. Si la curva de transición es menor de 40 m, el desarrollo del sobreecho se ejecutará en la longitud de la curva de transición disponible” (MTC, 2018).

Además, según el Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018) sostiene que “para la determinación del desarrollo del sobreecho se utilizará la siguiente fórmula:

$$Sa_n = \frac{Sa}{L} l_n$$

Dónde:

Sa_n : Sobreecho correspondiente a un punto distante l_n metros desde el origen.

L : Longitud total del desarrollo del sobreecho, dentro de la curva de transición.

l_n : Longitud en cualquier punto de la curva, medido desde su origen (m).

La ordenada Sa_n se medirá normal al eje de la calzada en el punto de abscisa l_n y el borde de la calzada ensanchada distará del eje $a/2 + Sa_n$ siendo "a" el ancho normal de la calzada en recta.

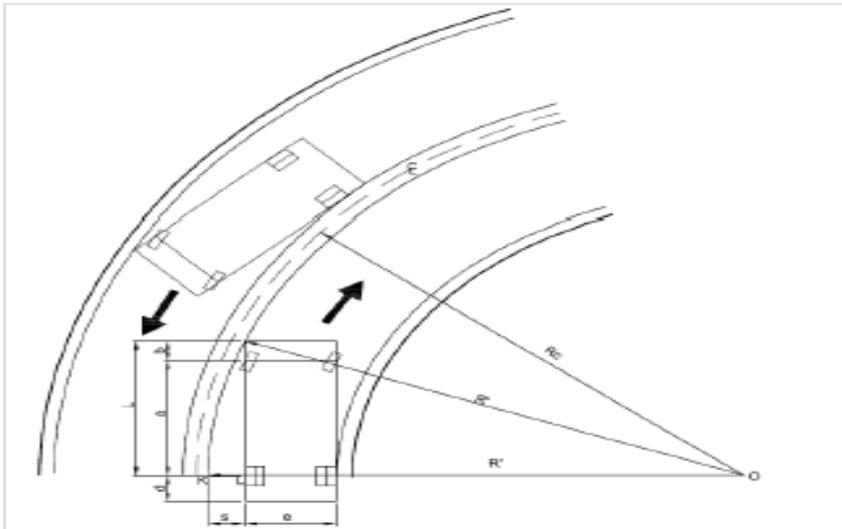
La demarcación de la calzada se ejecutará midiendo una ordenada $Sa_n / 2$, a partir del eje de la calzada, en el punto de la abscisa l_n ”.

- **Valores del sobreecho**

“El sobreecho variará en función del tipo de vehículo, del radio de la curva y de la velocidad de diseño y se calculará con la siguiente figura 1 y fórmula:

Figura 1

Sobrealto en las curvas



Nota. Dónde: R' : Radio hasta el extremo del parachoques delantero, s : Sobrealto requerido por un carril, L : Distancia entre el parachoques delantero y el eje trasero del vehículo.

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018).

Si se asume que R' es sensiblemente igual a R_c , se tiene que para una calzada de n carriles:

$$Sa = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Donde:

Sa : Sobrealto (m)

n : Número de carriles

R_c : Radio de curvatura circular (m)

L : Distancia entre ejes posterior y parte frontal (m)

V : Velocidad de diseño (km/h)

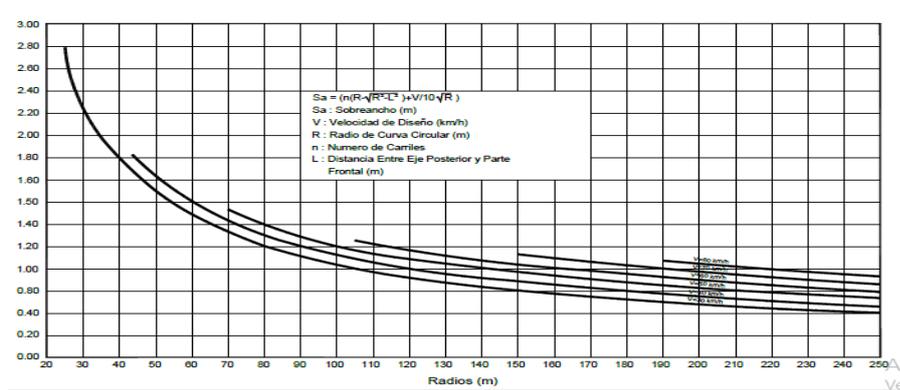
El primer término, depende de la geometría y el segundo de consideraciones empíricas, que tienen en cuenta un valor adicional para compensar la mayor dificultad, en calcular distancias transversales en curvas. Debe precisarse, que la inclusión de dicho valor adicional, debe ser evaluado y determinado por el diseñador, para aquellas velocidades que éste considere bajas para el tramo en diseño.

La consideración del sobreancho, tanto durante la etapa de proyecto como la de construcción, exige un incremento en el costo y trabajo, compensado solamente por la eficacia de ese aumento en el ancho de la calzada. Por tanto, los valores muy pequeños de sobreancho no deben considerarse. Se considera apropiado un valor mínimo de 0.40 m de sobreancho para justificar su adopción” (MTC, 2018).

También según el Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018) sostiene que “puede determinarse el sobreancho, empleando la Figura 1 en función a “L” del tipo de vehículo de diseño”.

Figura 2

Valores de sobreancho en función a “L” del tipo de vehículo de diseño



Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

“El valor del sobreancho, estará limitado para curvas de radio menor a lo indicado en la Tabla 1 (asociado a $V < 80$ km/h) y se debe aplicar solamente en el borde interior de la calzada. En el caso de colocación de una junta central longitudinal o de demarcación, la línea se debe fijar en toda la mitad de los bordes de la calzada ya ensanchada

Para radios mayores, asociados a velocidades mayores a 80 km/h, el valor del sobreancho será calculado para cada caso” (MTC, 2018).

Tabla 2

Factores de reducción del sobreebancho para anchos de calzada en tangente de 7.20m

Radio (R) (m)	Factor de reducción	Radio (R) (m)	Factor de reducción
25	0.86	90	0.60
28	0.84	100	0.59
30	0.83	120	0.54
35	0.81	130	0.52
37	0.8	150	0.47
40	0.79	200	0.38
45	0.77	250	0.27
50	0.75	300	0.18
55	0.72	350	0.12
60	0.70	400	0.07
70	0.69	450	0.08
80	0.63	500	0.05

Nota. El valor mínimo del sobreebancho a aplicar es de 0.40 m.

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

2.2.1.3. Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada

El Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018) sostiene que el tiempo de reacción de frenado, estaría de 2 a 3 segundos, se recomienda tomar el tiempo de percepción – reacción de 2.5 segundos.

A continuación se presentaran tablas 3 y 4 que se construyen tomando en cuenta el tiempo de percepción reacción de 2.5 segundos

Tabla 3*Distancia de visibilidad de parada (metros), en pendiente 0%*

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de percepción reacción (m)	Distancia durante el frenado a nivel (m)	Distancia de visibilidad de parada	
			Calculada (m)	Redondeada (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	93.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

Nota. La distancia de reacción de frenado calculado en tiempo 2.5 segundos, velocidad de desaceleración de 3.4 m/s²., de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3 de AASHTO. Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

Tabla 4*Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros)*

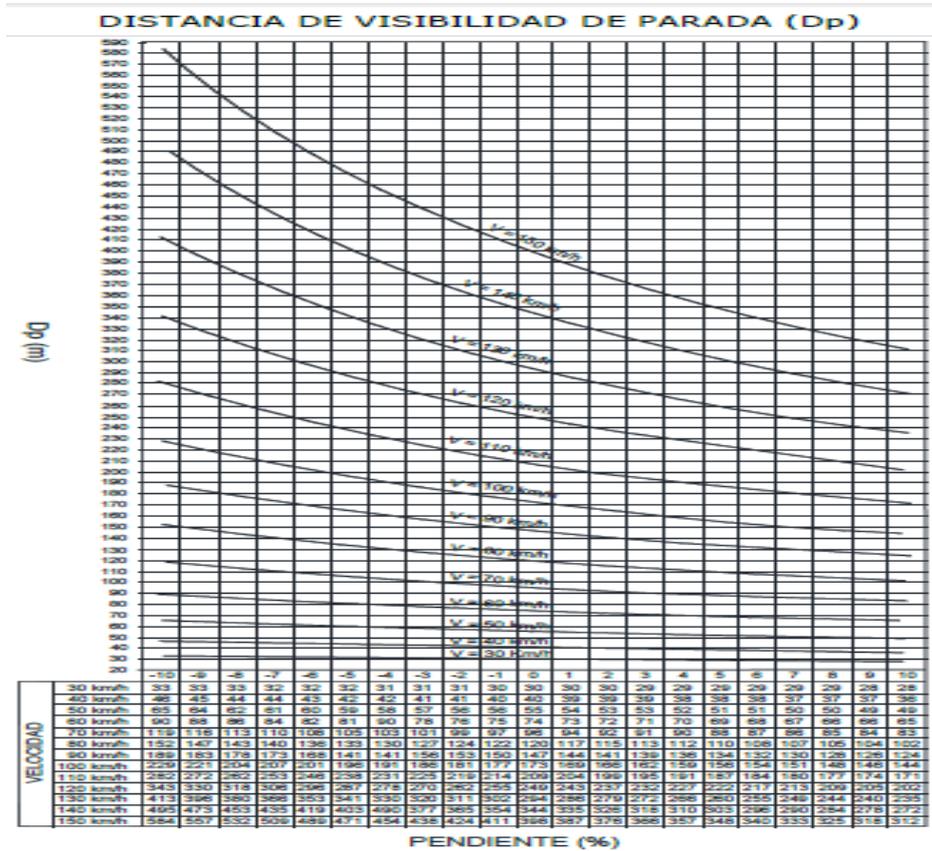
Velocidad de diseño (km/h)	Pendiente nula o en bajada			Pendiente en subida		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	283	293	304	234	223	214
130	310	338	375	267	252	238

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

Asimismo se presentará la figura 3 que se construyen tomando en cuenta un tiempo de percepción reacción menor a 2.5 segundos.

Figura 3

Distancia de visibilidad de parada



Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018)

2.2.2. Normas de diseño geométrico de carreteras 2003 – Ecuador

2.2.2.1. Vehículo de diseño

Según T.A.M.S. – ASTEC (2003) afirma que respecto al vehículo de diseño se hace referencia que debe ser un “vehículo representativo del tránsito de la ruta”.

2.2.2.2. Sobreechanco en curvas

“El objeto del sobreechanco en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, es necesario introducir los sobreechancos por las siguientes razones: a) El vehículo al describir la curva, ocupa un ancho mayor ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras, además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior a la del vehículo; b) La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril debido a

la menor facilidad para apreciar la posición relativa de su vehículo dentro de la curva” (T.A.M.S.- ASTS, 2003, p.68).

Además T.A.M.S.- ASTS, (2003) sostiene que “esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que los radios de la curva son mayores.

Para el caso “a”, si el vehículo describe una curva, marchando a muy pequeña velocidad, el sobreocho se podría calcular geoméricamente, ya que su eje posterior es radial”.

“Lo mismo ocurrirá cuando describiera una curva peraltada a una velocidad tal, de manera que la fuerza centrífuga fuera contrarrestada completamente por la acción del peralte.

En cambio, si la velocidad fuera menor o mayor que la anterior, las ruedas traseras se moverían a lo largo de una trayectoria más cerrada o más abierta, respectivamente.

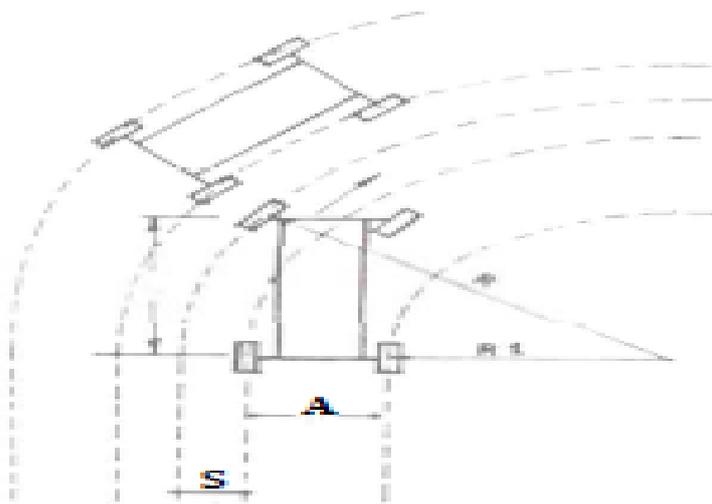
Para el cálculo práctico del sobreocho, no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, muy variable según las características de los vehículos y la velocidad que desarrollan.

Para determinar la magnitud del sobreocho debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta” (T.A.M.S.- ASTS, 2003, p.68).

Así mismo T.A.M.S.- ASTS, (2003) sostiene que el “esquema para determinar el sobreocho de un carril de tránsito en una curva se muestra en la figura 4”.

Figura 4

Esquema para determinar el sobreocho de un carril de tránsito en una curva



Nota. Fuente: T.A.M.S. – ASTEC (2003)

$$R1 + A = \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$R1 + A = R - S$$

$$R - S = \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$S = R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

R= Radio de la curva, m

A= Ancho del vehículo, m

S= sobreechancho, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

n = Número de carriles

Barnnet introduce un término de seguridad en el que interviene la velocidad

$$S1 = \frac{0.105V}{\sqrt{R}}$$

Considerando la influencia de la velocidad de tránsito y para diferentes números de carriles se utiliza la siguiente fórmula empírica.

$$S = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Donde:

S = Valor de sobreechancho, metros.

n = Número de carriles de la calzada.

R = Radio de la curva circular, metros.

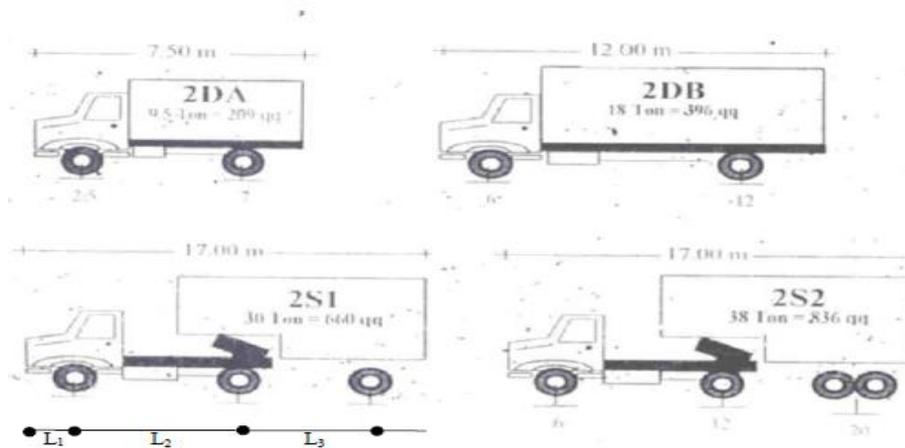
L = Longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

V = Velocidad de diseño, Km/hora.

Cálculo del sobreechancho para tractocamiones de 2 ejes y semiremolque de 1 eje.

Figura 5

Imagen de los vehículos 2DA, 2DB, 2S1 y 2S2



Nota. Fuente: T.A.M.S. – ASTEC (2003)

$$S = 2 \left[R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_2^2)} \right] + \left[\sqrt{R^2 + L_1(L_1 + 2L_2)} - R \right] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

El Ing. Juan Carvalán de la Universidad de la Plata (argentina), sugiere que los sobrecargos "S" obtenidos con las fórmulas antes descritas se apliquen tomándose como base la calzada con un ancho de carril de 3,35 m y que para calzadas de diferentes anchos se efectúen las correcciones aplicando la siguiente ecuación:

$$S_a = 2 \times 3.35 + S - A_c$$

En dónde;

S_a = Sobrecargo para una calzada diferente a 6,7 m de ancho

S = Sobrecargo obtenido por las fórmulas antes descritas

A_c = Ancho de la calzada

- Cálculo de sobrecargo según la AASHTO: La AASHTO, hace un análisis en el que intervienen los siguientes factores.

1.- El ancho del vehículo de diseño

$$U = u + \sqrt{R^2 - L^2}$$

u = Ancho normal de un vehículo el mismo que varía de 2,45 m a 2,60 m

L = La distancia entre el eje anterior y el eje posterior se asume 6,10 m

R = Radio de la curva

2.- El espacio lateral que necesita cada vehículo se asume:

Tabla 5*Espacio lateral que necesita cada vehículo asumido*

Ancho de calzada (m)	Valor C
6.00	0.60
6.50	0.70
6.70	0.75
7.30	0.90

Nota. Fuente: T.A.M.S. – ASTEC (2003)

3.- El avance del voladizo delantero del vehículo sobre el carril adyacente mientras gira.

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R$$

4.- El sobreaño adicional de seguridad que depende de la velocidad de diseño y el radio de curva.

$$Z = \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Si el ancho requerido para la calzada en la curva es A_c y el establecido para los tramos rectos es A_r , el sobreaño será:

$$S_a = A_c - A_r$$

El ancho de la calzada de dos carriles en la curva debe ser:

$$A_c = 2(U + C) + FA + Z$$

- Valores de diseño

“Por razones de costo se establece el valor mínimo de diseño del sobreaño igual a 30 cm para velocidades de hasta 50 Km/h y de 40 cm para velocidades mayores. En los cuadros correspondientes se indican los diversos valores de variación de los valores del sobreaño en función de la velocidad, el radio y del vehículo de diseño.

El radio máximo para cada velocidad de diseño anotada, representa la curvatura a partir de la cual la tendencia de un vehículo a salir de su propio carril es mínima y al mismo tiempo

la visibilidad es suficientemente amplia que, para los volúmenes de tránsito considerados, no es necesario ensanchar el pavimento en las curvas” (T.A.M.S.-ASTS, 2003).

2.2.2.3. Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada

Según T.A.M.S.- ASTS (2003) afirma que “el tiempo de percepción es muy variable de acuerdo al conductor y equivale a 1,5 segundos para condiciones normales de carretera, de acuerdo a varias pruebas realizadas por la AASHTO. Por razones de seguridad, se debe adoptar un tiempo de reacción suficiente para la mayoría de los conductores y equivalente a un segundo. De aquí que el tiempo total de percepción más reacción hallado como adecuado, se lo considera igual a 2,5 segundos para efectos de cálculo de la mínima distancia de visibilidad en condiciones de seguridad (para el 90% de los conductores según la AASHTO)”.

A continuación se presentaran tablas 6 y 7 que se construyen tomando en cuenta el tiempo de percepción reacción de 2.5 segundos.

Tabla 6

Distancia de visibilidad mínima para parada de un vehículo

Criterio de Diseño: Pavimentos mojados y Gradiente Horizontal (0 %)

Velocidad de Diseño-Vd (Kph)	Velocidad de Circulación Asumida-Vc (Kph)	Percepción + Reacción para Frenaje		Coeficiente de Fricción Longitudinal "f"	Distancia de Frenaje "d2" Gradiente Cero (m)	Distancia de Visibilidad para parada (d=d1+d2)	
		Tiempo (seg)	Distancia Recorrida "d" (m)			Calculada (m)	Redondeada (m)
20	20	2,5	13,89	0,47	3,38	17,25	20
25	24	2,5	16,87	0,44	5,12	21,78	25
30	28	2,5	19,44	0,42	7,29	26,74	30
35	33	2,5	22,92	0,40	10,84	33,66	35
40	37	2,5	25,89	0,39	13,85	39,54	40
45	42	2,5	29,17	0,37	18,53	47,70	50
50	46	2,5	31,94	0,36	22,85	54,79	55
60	55	2,5	38,19	0,35	34,46	72,85	70
70	63	2,5	43,75	0,33	47,09	90,84	90
80	71	2,5	49,31	0,32	62,00	111,30	110
90	79	2,5	54,86	0,31	79,25	134,11	135
100	86	2,5	59,72	0,30	98,34	156,06	160
110	92	2,5	63,89	0,30	112,51	176,40	180
120	100	2,5	71,53	0,29	145,88	217,41	220

Nota. Fuente: T.A.M.S. – ASTEC (2003)

Tabla 7

Distancia de visibilidad mínima para parada de un vehículo

(Con correcciones por efecto de la gradiente longitudinal) Criterio de Diseño:

*Pavimentos mojados cuesta abajo (-) y cuesta arriba (+) $D_p = \{(V_c * t) / 3 * R\} + \{(V_c - 2) / 254(1 \pm G)\}$*

Velocidad de Diseño-Vd (Kph)	Velocidad de Circulación Asumida Vc (Kph)	Coeficiente de fricción longitudinal	GRADIENTE "G" %							
			-12	-9	-6	-3	3	6	9	12
20	20	0,488	13,75	13,70	13,60	13,27	14,34	14,13	14,06	14,02
25	24	0,443	16,47	16,40	16,26	15,78	17,33	17,02	16,91	16,85
30	28	0,423	19,18	19,08	18,89	18,25	20,35	19,93	19,77	19,69
35	33	0,403	22,55	22,42	22,15	21,27	24,18	23,59	23,37	23,26
40	37	0,389	25,23	25,07	24,73	23,83	27,28	26,54	26,27	26,13
45	42	0,375		28,36	27,98	26,52	31,22	30,26	29,91	
50	46	0,365		30,98	30,47	28,78	34,42	33,25	32,83	
60	55	0,345		36,82	35,09	33,71	41,75	40,07	39,47	
70	63	0,332			40,00	37,89	48,44	46,22		
80	71	0,320			40,99	41,90	55,28	52,45		
90	79	0,310			45,81	45,73	62,28	58,76		
100	88	0,302			50,54	48,93	68,54			
110	92	0,296				51,57	74,00			
120	100	0,286				56,14	84,24			

Nota. Fuente: T.A.M.S. – ASTEC (2003)

2.2.3. Manual de diseño geométrico 2007 – Bolivia

2.2.3.1 Vehículo de diseño

Respecto a la elección del vehículo tipo, la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) sostiene que “los vehículos se agrupan en cuatro categorías, que son las siguientes:

L = Vehículo Liviano: automóvil y camioneta.

C = Camión: camión simple de 11,0 m y bus interurbano de 12,1 m; 13,2 m y 14,0 m

VA1=Vehículo articulado corriente: tracto camión con semirremolque corriente.

VA2=Vehículo articulado especial: Tractocamión con semirremolque para automóviles”.

a. Vehículo liviano (L)

“Cubre los diseños mínimos para automóviles y camionetas. Está representado por el Tipo P de AASHTO. Su utilización como vehículo tipo para el diseño debe reservarse sólo para aquellos casos en que el porcentaje de camiones que circulan sea muy bajo, que el espacio esté limitado o que la intersección sea de muy poca importancia. Los casos más frecuentes son:

- Vías Urbanas (bajo porcentaje de camiones y espacio limitado).

- Cruce de Carreteras Locales con Colectoras en que los movimientos de giro sean muy raros.
- Cruces de Carreteras Locales con muy poco tránsito.

Un vehículo Tipo C, al hacer un giro mínimo diseñado para el vehículo L, podrá hacerlo invadiendo en parte los carriles adyacentes de entrada y/o salida. Si es posible, será preferible diseñar con el vehículo tipo C” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

b. Camiones y buses (C)

Según la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) sostiene que respecto a camiones y buses cubre los diseños mínimos para Camiones (Unidad Simple) y Buses Interurbanos. Está representado por el Bus AASHTO (L = 12,1 m). Además, en el punto “Trazados Mínimos Absolutos de Bordes en Giros sin Canalización” de la norma, se amplían los radios mínimos para dar cabida al Bus Interurbano de 13,2 y 14,0 m (según buses de fabricación actual) Su utilización como vehículo de diseño es, en la generalidad de los casos, el mínimo recomendable para los cruces de caminos rurales.

Debe tenerse presente que en éstos el tránsito de vehículos tipo C es, por lo general, del orden o superior al 25 % del tránsito total.

En áreas urbanas debe consultarse este vehículo tipo siempre que exista locomoción colectiva que utilice o que se prevea pueda llegar a circular por la intersección. Siempre que el porcentaje de C sea elevado, debe intentarse la superación de los límites que permite el vehículo tipo C.

Los buses interurbanos pueden inscribirse en un diseño tipo C sin problemas, y la generalidad de los VA lo pueden hacer con menos problemas que los que enfrenta un vehículo tipo C ante un diseño tipo L

c. Vehículo articulado VA1

“Cubre los diseños mínimos para el Tracto Camión con Semirremolque Corriente. Está representado por valores intermedios de los vehículos AASHTO WB-15 (L = 16,7 m) y WB19 (L = 21,0 m), que dan cabida al semirremolque corriente de 18,6 m, el más comúnmente usado. El vehículo VA1 debe ser elegido como vehículo tipo en aquellos cruces donde circulen o se prevea la presencia de tractocamiones con semirremolque corriente, que utilicen habitualmente y en

número significativo los ramales de giro” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

d. Vehículo articulado VA2

“Cubre los diseños mínimos del Tracto Camión con Semirremolque para Transporte de Automóviles (L = 22,4 m), el más común en el mercado. Está representado por el semirremolque WB-20 de AASHTO El vehículo VA2 sólo regirá el diseño en forma excepcional, cuando se prevea presencia significativa de grandes remolques de más de veinte metros de longitud” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

2.2.3.2. Sobreancho en curvas

Respecto al sobreancho en curvas circulares se tiene:

a. Aspectos generales:

“En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreancho requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las huelgas teóricas adoptadas, (valores medios). El sobreancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la Berma o el SAP correspondiente a la Categoría de la ruta.

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 8

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

	Calzada de 7,0 m		Calzada de 6,0 m	
	En Recta	En Curva Ensanchada	En Recta	En Curva Ensanchada
h1	0,5 m	0,6 m	0,3 m	0,45 m
h2	0,4 m	0,4 m	0,1 m	0,05 m
h2 ext.	0,4 m	0,0 m	0,1 m	0,0 m

Nota. Siendo: h_1 = Huelga entre cada vehículo y el eje demarcado; h_2 = Huelga entre la cara 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.

$h_2 \text{ ext.}$ = Huelga entre el extremo exterior del parachoque delantero y el borde exterior de la calzada, $h_2 \text{ ext} \approx h_2$ en recta y $h_2 \text{ ext} = 0$ en curvas ensanchadas.

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007).

Las huelgas en curvas ensanchadas son mayores en calzadas de 7,0 m respecto de las 6,0 m, no sólo por el mayor ancho de calzada, sino que por las mayores velocidades de circulación que en ellas se tiene y por el mayor porcentaje de vehículos comerciales de grandes dimensiones.

El cálculo del ensanche o sobreebancho en curvas se hará según se establece en Párrafo de sobreebancho en curvas Literal b, para dos vehículos comerciales del mismo tipo que se crucen en calzadas bidireccionales o para el caso de adelantamiento en las unidireccionales.

El vehículo tipo (i) se seleccionará considerando el mayor vehículo comercial para el cual se prevea un flujo mayor o igual que el indicado a continuación, en cualquier época del año a la puesta en servicio de la obra. Se considerará el flujo del vehículo (i) más el de aquellos de mayor tamaño que no superaban el límite.

Calzada Bidireccional: Flujo ≥ 15 Veh Tipo i/día en ambas direcciones
Calzadas Unidireccionales: Flujo ≥ 40 Veh Tipo i/día en cada dirección

Como mínimo se considerarán ensanches para dos vehículos tipo con $L_o = 9,5$ m, según se define en la Tabla 9. Según sean las características del trazado y función que preste la ruta, la Administradora Boliviana de Carreteras podrá definir el Vehículo Tipo a considerar independientemente de la clasificación según flujos estipuladas precedentemente, así como para dimensiones diferentes de las señaladas en la Tabla 9 y que se acompaña” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

b. Cálculo del sobreebancho

Según la Administradora Boliviana de Carreteras, (2007) sostiene que el cálculo detallado del sobreebancho 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 en el Literal a; los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas que se presentan en la Tabla 9, columna E(m), las que permiten calcular el Ensanche Total requerido en una calzada de dos carriles

(bidireccional o unidireccional) con anchos de 7,0 y 6,0 m, empleando los parámetros de cálculo “Lo” para unidades simples (Camiones y Buses); L1 y L2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva

Tabla 9

Ensanche de la calzada E(M) (permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas H1 Y H2)

TIPO DE VEHÍCULO (Lt en m)	PARÁMETRO DE CÁLCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LÍMITE (m)
CALZADA EN RECTA 7,0 m (n = 2) 0,5 m ≤ E ≤ 3,0 m E = e.int + e.ext h1 = 0,6 m h2 = 0,4 m					
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$30 \leq R \leq 130$
Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$35 \leq R \leq 160$
Semitrailer Lt = 16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,20$	0,70 E	0,30 E	$45 \leq R \leq 190$
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2				$60 \leq R \leq 260$
Semitrailer Lt = 22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5				$85 \leq R \leq 380$

Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

CALZADA EN RECTA 6,0 m (n = 2) 0,35 m ≤ E ≤ 3,20 m h1 = 0,45 m h2 = 0,05 m					
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) + 0,15$	55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 450$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) + 0,15$	55 E	0,45 E	$35 \leq R \leq 550$
Semitrailer Lt=16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) + 0,20$	55 E	0,45 E	$45 \leq R \leq 650$
Semitrailer Lt=18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L1^2 + L2^2)/R) + 0,20$	55 E	0,45 E	$65 \leq R \leq 850$
Semitrailer Lt=22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5	No corresponde a Caminos con Calzada 6,0 m			

Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

Lt = Largo Total del Vehículo * Indica largo máximo legal

Unidades Simples (Camiones y Buses):

Lo = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero.

Semitrailer:

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

L2 = Distancia entre pivote mesa de apoyo y último eje del tandem trasero.

Camión con Acoplado:

El conjunto con Lt = 20,5 m (máx legal) puede operar en los ensanches diseñados para el Semitrailer con Lt= 18,6 m y cualquier conjunto con Lt ≤ 19,5 m puede hacerlo en los diseños para el Semitrailer con Lt = 16,4 m.

Tabla 10

Ensanche de la calzada en caminos con $VP \leq 60$ KM/H alternativa con calzada en recta 7,0 M (N=2) Y $H1 = 0,45$ M; $H2 0,05$ $0,35$ M $\leq E \leq 3,0$ M

TIPO DE VEHICULO (Lt en m)	PARAMETRO DE CÁLCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LÍMITE (m)
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$25 \leq R \leq 75$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 95$
Semitrailer Lt=16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,80$	0,55 E	0,45 E	$35 \leq R \leq 115$
Semitrailer Lt=18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,80$	0,55 E	0,45 E	$50 \leq R \leq 155$
Semitrailer Lt=22,4*	No corresponde a Caminos con $Vp \leq 60$ Km/h				

Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007).

Adicionalmente la Tabla 10 indica la proporción del ensanche total que se debe dar a el carril interior “e.int” y a el carril exterior “e.ext”.

El Ensanche Total “E(m)” se limitará a un máximo de 3,0 m y un mínimo de 0,5 m en calzadas de 7,0 m y a un máximo de 3,20 m y un mínimo de 0,35 m en calzadas de 6,0 m.

La columna “Radios Límite” indica que radios menores o mayores que los allí indicados requieren ensanches mayores o menores que los límites antes definidos.

“En Caminos Locales y de Desarrollo con calzada de 6,0 m de ancho, pueden existir curvas con radios menores o iguales que 65 m, los que según sea el vehículo tipo considerado, requerirían ensanches mayores que los máximos establecidos, no siendo posible entonces el cruce de dos vehículos tipo dentro de la curva; en estos casos sólo se podrán cruzar dentro de la curva un vehículo comercial tipo y un vehículo liviano, debiendo los vehículos comerciales que requieren ensanches mayores hacerlo en los tramos rectos. Si no existen tramos rectos de longitud suficiente y se da una sucesión de curvas restrictivas respecto de los ensanches requeridos por el vehículo tipo considerado, se deberá estudiar uno o más ensanches especiales al interior de dicho tramo. Simultáneamente, el rango de radios que requieren ensanche crece significativamente para los Vehículos Tipo de mayor tamaño.

Considerando lo expuesto precedentemente, en caminos en que se consulte una calzada normal de 6,0 m de ancho, y $V_p \leq 60$ km/h, si existen tramos de trazado sinuoso con curvas cuyos radios estén en el orden de los mínimos correspondientes a la velocidad de proyecto (trazados en montaña o similares), se analizará la conveniencia y se propondrá a la Administradora Boliviana de Carreteras, ensanchar la calzada del tramo a 7,0 m de ancho y, considerar en las curvas huelgas iguales a las previstas para las calzadas de 6,0 m. Si la Administradora Boliviana de Carreteras acoge la proposición, el ensanche de las curvas se calculará mediante las expresiones que figuran en la Tabla 10” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

c. Sobrancho en calzadas de menos o más de 2 carriles

Según la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) sostiene que las calzadas de 1 Carril ($n = 1$) se asocian a los ramales de intersecciones y enlaces o dispositivos similares y, en consecuencia, el ancho total de la calzada de un carril se obtendrá de la Tabla titulada “Anchos de pavimento y bermas de Ramales del Capítulo de “Intersecciones”, considerando las situaciones descritas para los Casos I ó II, el vehículo tipo que corresponda y el radio de la curva en cuestión. El caso III que allí figura, que corresponde a $n = 2$, se empleará sólo en el caso de ramales, abordándose los ensanches en las carreteras y caminos según se expuso en el Literal b

“En Carreteras y Caminos Unidireccionales con anchos de carril de 3,5 m, se pueden dar casos con $n=3$ ó más. En estos casos, los vehículos comerciales circularán habitualmente por los dos carriles exteriores de cada calzada y, el radio a considerar para el ensanche de esos dos carriles será el radio efectivo según la arista común a ambos carriles, que correspondería a la calzada sin ensanchar, calculándose para ellas los ensanches como si se tratara de una calzada de dos carriles. El tercer Carril, por la cual no circularán vehículos comerciales en zonas de curvas restrictivas, se ensanchará en un 40% del ensanche que se calculó para el carril adyacente y ello con el objeto de crear una huelga respecto del extremo del parachoques delantero del vehículo comercial que podría estar describiendo una trayectoria coincidente con la línea que separa ambos carriles.

Si el ensanche resultante es menor que 0,25 m, no se hará el ensanche. Para un eventual cuarto carril no se considerarán ensanches” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

d. Desarrollo del sobreebanco en arcos de enlace

“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 ensanche, se dará en una longitud de 40 m, empleando para ello parcial o totalmente la clotoide que precede a la curva. Si el arco de enlace es menor de 40 m el desarrollo del sobreebanco se ejecutará en la longitud del arco de enlace disponible y si es mayor de 40 m la transición de ancho se iniciará 40 m antes del PC. Del mismo modo, pero en sentido inverso se actuará a la salida de la curva circular a partir del FC” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

Según la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) sostiene que el desarrollo del sobreebanco se dará siempre dentro de la curva de enlace, adoptando una variación lineal con el desarrollo, generando el ensanche en el costado de la ruta que corresponde al interior de la curva, empleando para ello la expresión:

$$e_n = (E/L) \cdot l_n$$

Siendo:

E = Ensanche total calculado según Tabla 9 o Tabla 10

e_n = Ensanche parcial correspondiente a un punto distante “ l_n ” metros desde el origen de la transición.

L = Longitud Total del desarrollo del sobreebanco, dentro de la clotoide.

La ordenada “ e_n ” se medirá normal al eje del trazado en el punto de abscisa “ l_n ” y el borde interior de la calzada distará del eje ($a + e_n$), siendo “ a ” el ancho normal de un carril en recta.

e. Demarcación del eje de los carriles ensanchados

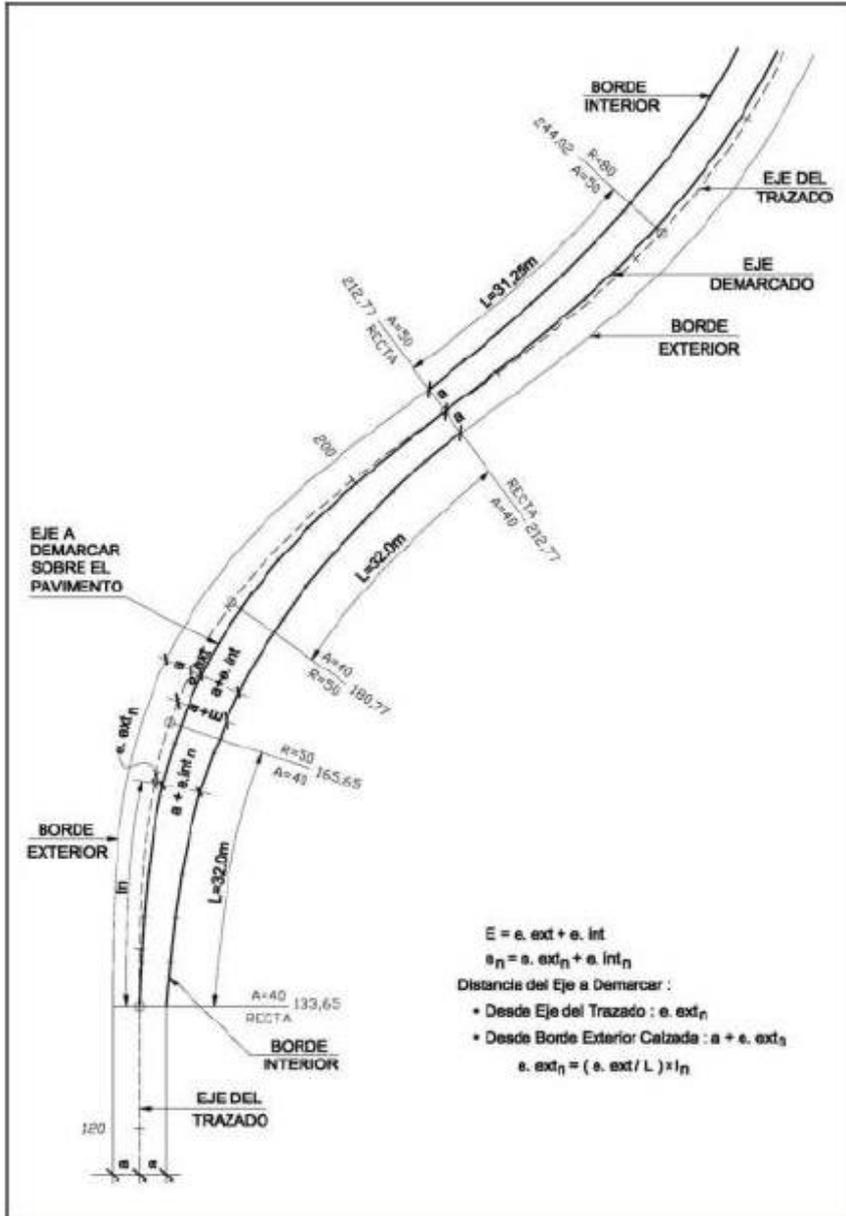
“Según se establece en las Tabla 9 y Tabla 10, el ensanche total correspondiente al carril exterior (e.ext) es diferente del carril interior (e.int), influyendo en ello el ancho de la calzada normal las huelgas y el vehículo tipo considerado” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007, p.85).

Según la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) afirma que en la Figura 6 se ilustra la posición del eje a demarcar, el que dista según una normal, la distancia e.ext a partir del eje de trazado, o bien, si el eje del trazado no está disponible sobre el pavimento, a una distancia ($a+e.ext$) del borde exterior del pavimento. Los valores parciales de $e.ext_n$ se calcularán igual que para e_n según lo expuesto en el Literal d. Los valores de “ l_n ” se deben medir según el eje del

trazado (por la clotoide) y si este no está definido sobre el pavimento, según la curva distante “a” metros del borde exterior del pavimento”

Figura 6

Transición del sobreancho a lo largo de la clotoide de enlace y demarcación



Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

f. Desarrollo del sobreancho en caminos de desarrollo

“Las curvas que requerirán sobreanchos en los Caminos de Desarrollo se asocian a velocidades de diseño ≤ 50 kph, es decir velocidades de operación moderadas. En estas circunstancias un desarrollo de 40 metros en la recta precedente resulta adecuado cualquiera que sea la magnitud del ensanche y, si el

tramo recto es de menor longitud, el ensanche deberá desarrollarse en la longitud existente, la que en todo caso se procurará no sea menor de 30 m.

Si el camino no posee pavimento la transición del ensanche total se generará linealmente, tal como si existiera una clotoide, pero en este caso a lo largo de la recta que precede al PC.

Si el Camino de Desarrollo posee pavimento, el ensanche total del borde interior se dará mediante el curvoide definido en la Tabla 11, que entrega las relaciones de abscisa y ordenada correspondiente a la curva seleccionada para generar los ensanches” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

Tabla 11

Desarrollo del sobreaancho para curvas circulares sin curva de enlace

l_n/LT	e_n/E	l_n/LT	e_n/E
0,00	0,00	0,60	0,681
0,10	0,013	0,70	0,834
0,20	0,063	0,75	0,893
0,25	0,107	0,80	0,937
0,30	0,166	0,90	0,987
0,40	0,319	1,00	1,00
0,50	0,50		

Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

l_n = Abscisa de un punto entre el origen y el final del desarrollo, medido a partir del origen (m)

LT = Longitud total para desarrollar el sobreaancho, normalmente 40 m.

e_n = Sobreaancho correspondiente al punto de abscisa l_n (m)

E = Sobreaancho total requerido (m)

“La Demarcación del eje de los carriles ensanchados de un Camino de Desarrollo que cuenten con pavimento, se definirá incrementando linealmente el ancho del carril exterior, tal como si existiera una clotoide, pero en este caso a lo largo de la recta que precede al PC” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007, p.86).

Administradora Boliviana de Carreteras (2007) afirma que Si dos curvas sucesivas en el mismo sentido de un Camino de Desarrollo, requieren ensanches E' y E'' , y la recta intermedia es menor o del orden de 80 m, la transición del

sobreancho se realizará decreciendo linealmente hasta el punto medio de la longitud disponible si $E' > E''$, para desde allí mantener el valor de E'' hasta alcanzar el PC de la curva que lo requiere. Si $E' < E''$, se mantendrá el ensanche E' hasta el punto medio de la recta, para desde allí crecer linealmente hasta el E'' que se debe alcanzar en el PC de la próxima curva.

g. Aspectos constructivos

“En los casos que la calzada posea pavimento de hormigón, cualquiera sea la categoría de la Carretera o Camino, el sobreancho se iniciará con 0,5 m manteniéndose este ancho constante hasta que la ordenada correspondiente alcance dicho valor, para de allí seguir con la variación que le corresponde según los procedimientos definidos para rutas con o sin clotoide de enlace.

Los sobreanchos en hormigón deberán llevar barra de amarre en la junta longitudinal, del mismo tipo que los utilizados entre carriles de la calzada” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

h. Casos especiales

“En aquellos Caminos en que el volumen de tránsito, la composición del mismo y tipo de camiones que circulan lo justifique, la Administradora Boliviana de Carreteras podrá autorizar el empleo de valores de L_0 ; L_1 y L_2 distintos de los indicados en la Tabla 9” (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

2.2.3.3. Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada.

Según la Administradora Boliviana de Carreteras (2007) sostiene que el tiempo que se usa en de 2 segundos mostrado en la Tabla 12, Tabla 13 y Figura 7.

Tabla 12

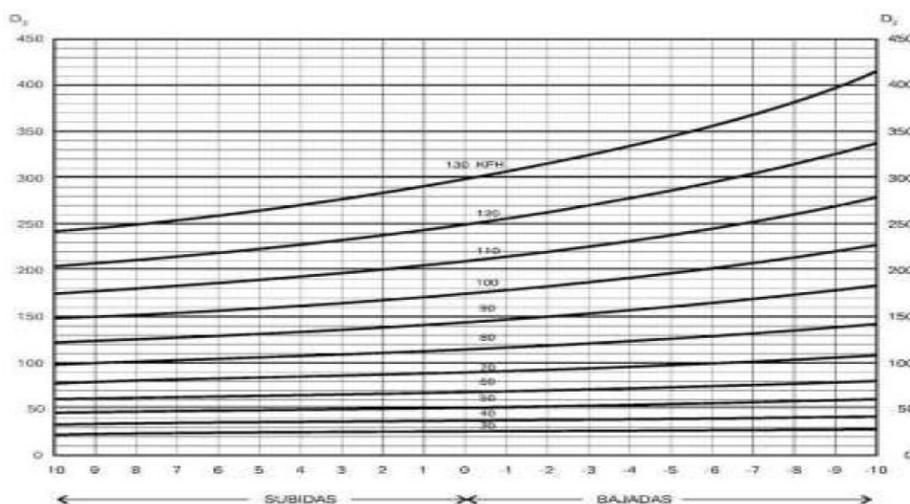
Distancia de Frenado en horizontal "DF" ($DF = 0,555 V + 0,00394 V^2/R$)

V km/h	t s	f ₁ -	dt m	Df m	Df (m)		V km/h
					dt+df	Adopt.	
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	68,8	70	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

Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

Figura 7

Ilustración gráfica



Nota. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

Tabla 13

Tabla numérica equivalente

V (KPH) →	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
EN SUBIDA + i %	10	23	34	47	62	79	98	122	147	175	205	241
	9	24	35	47	62	80	100	124	148	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	48	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	
(1)	0	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250	300
EN BAJADA - i %	-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	366
	-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

Nota. Valores redondeados según Tabla 12. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

2.2.4. Manual de diseño geométrico de carreteras 2008 – Colombia

2.2.4.1. Vehículo de diseño

“La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y sobrecanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados)” (Transportes – Instituto Nacional de Vías, 2008).

2.2.4.2. Sobrecancho en curvas

Según Transportes – Instituto Nacional de Vías (2008) sostiene que en curvas de radio reducido, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera, se debe ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la calzada.

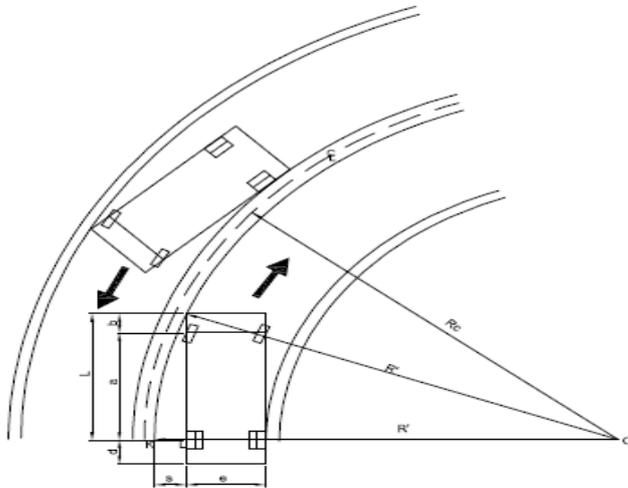
2.2.4.2.1. Determination del sobreocho

- Vehículos rígidos

En la Figura 8 se ilustran dos vehículos pesados de tipo rígido, circulando en una curva de radio R_c

Figura 8

Sobreocho en las curvas

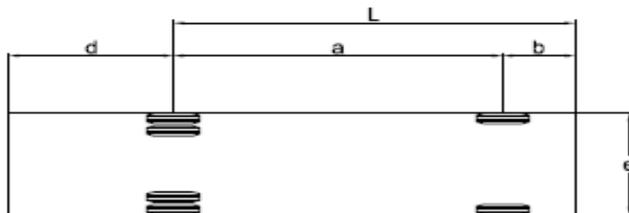


Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

En la Tabla 14 se indican las dimensiones de los vehículos representativos de cada categoría.

Tabla 14

Dimensiones para el cálculo del sobreocho en los vehículos de tipo rígido



CATEGORÍA	a (m)	b (m)	d (m)	e (m)	L (m)
Vehículo liviano	2.90	0.80	1.30	1.80	3.70
Bus mediano	6.49	0.76	3.66	2.44	7.25
Bus grande	7.00	2.70	3.30	2.60	9.70
2 Camión de dos ejes	6.60	1.40	3.20	2.50	8.00
3 Camión de tres ejes o dobletrouque	6.55	1.25	3.20	2.50	7.80

Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

De la Figura 8 se puede deducir que:

$$\overline{OK} = R'$$

Donde: R' : Radio hasta el extremo del parachoques delantero.

$$s = R' - \overline{OL}$$

Donde: s : Sobreancho requerido por un carril

$$s = R' - \sqrt{R^2 - L^2}$$

Donde: L : Distancia entre el parachoques delantero y el eje trasero del vehículo.

Si se asume que R' es sensiblemente igual a R_c , se tiene que para una calzada de n carriles:

$$s = nx(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2})$$

Donde: s : Sobreancho requerido para la calzada.

n : Número de carriles.

R_c : Radio de la curva circular

“En vías de dos carriles y dos sentidos, para anchos de calzada en entretangencia mayores de siete metros (7.0 m), no se requiere sobreancho, a excepción de las curvas con ángulos de deflexión mayor a ciento veinte grados (120°).

Igualmente, el sobreancho estará limitado a curvas de Radio menor a ciento sesenta metros (160 m) y todo el sobreancho requerido por los carriles que integran la calzada se debe construir en la parte interior de la curva. La línea central divisoria de carriles, demarcada sobre el pavimento, se debe fijar en la mitad de los bordes de la calzada ya ensanchada.

En vías Terciarias, el sobreancho de la curva se puede determinar de acuerdo con el gráfico de la Figura 9, para cualquier valor del radio de curvatura, R_c . El gráfico está elaborado teniendo en cuenta un carril; para calzadas de n carriles, el sobreancho se determina multiplicando el valor dado en el gráfico por el número de carriles (n). En términos generales, dicho valor se calcula mediante la siguiente relación:

$$S = \frac{32xn}{R_c}$$

Donde: S : Ancho requerido por la calzada, en metros.

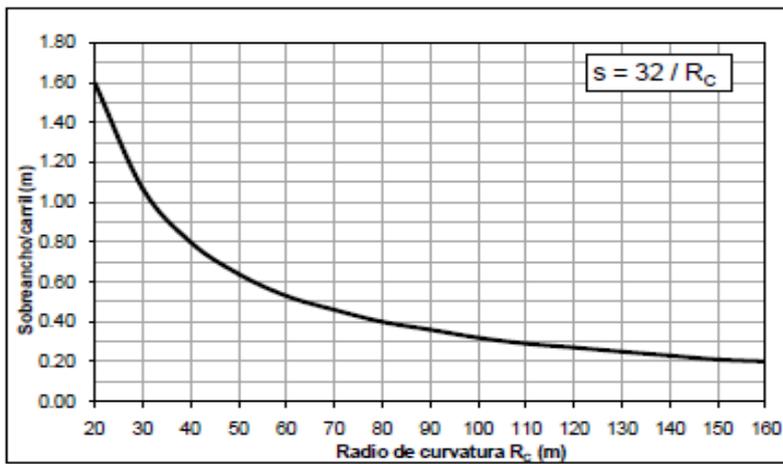
n : Número de carriles.

R_c : Radio de la curva, en metros.

La figura 5 aplica para un camión de dos ejes con $L = 8.0$ m. Los valores de sobreebanco calculados se pueden redondear, para obtener valores que sean múltiplos de diez centímetros (0.10 m)” (Transportes – Instituto Nacional de Vías, 2008).

Figura 9

Sobreebanco de la curva para un carril en carreteras Terciarias



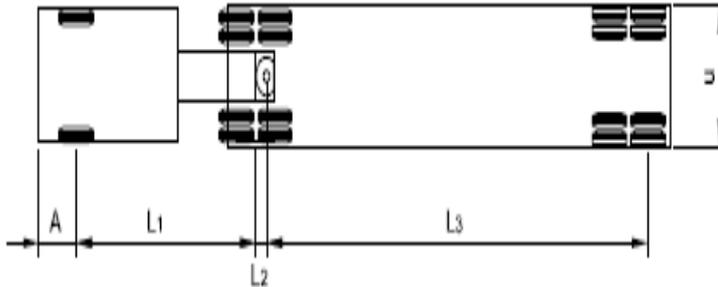
Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

- Vehículos articulados

Según Transportes – Instituto Nacional de Vías (2008) sostiene que en la Tabla 15 se presenta el vehículo articulado, conformado por una unidad tractora y semirremolque. Las dimensiones ilustradas corresponden a las requeridas para el cálculo del sobreebanco.

Tabla 15

Dimensiones para el cálculo del sobreebanco requerido por el vehículo articulado representativo del parque automotor colombiano



	CATEGORIA	A (m)	L ₁ (m)	L ₂ (m)	L ₃ (m)	u (m)
3S2	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.0	12.97	2.59

Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

El Manual AASHTO versión 2004 presenta el siguiente procedimiento para la determinación del sobreebanco requerido en una curva. En la Figura 10 se presenta el esquema del sobreebanco.

La expresión recomendada por la AASHTO es la siguiente:

$$S = A_C - A_T$$

Donde: S: Sobreebanco requerido por la calzada, en metros.

A_C : Ancho de la calzada en curva, en metros

A_T : Ancho de la calzada en tangente, en metros

Ahora bien:

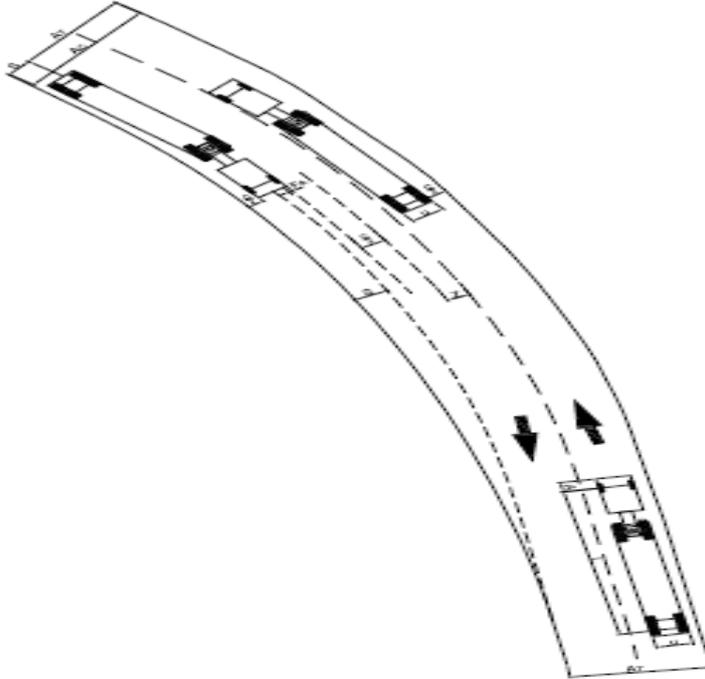
$$A_C = nx(U + C) + (n - 1)xF_A + Z$$

Donde: n: Número de carriles de la calzada

U: Ancho ocupado por el vehículo cuando está describiendo la trayectoria en la curva, en metros.

Figura 10

Sobreancho requerido para una curva al ser recorrida por un vehículo articulado categoría 3S2.



Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

$$U = u + R_c - \sqrt{R_c^2 - (L_1 + L_2 + L_3)^2}$$

Donde: U: Ancho del vehículo en tangente, en metros. Ver Tabla 7

R_c: Radio de la curva en metros

L₁, L₂ y L₃ : Dimensiones del vehículo, en metros. Ver Tabla 15

C: Espacio lateral de seguridad que requiere cada vehículo, en metros. En la Tabla 16 se presenta el valor de C en función del ancho de la calzada.

Tabla 16

Valor de C en función del ancho de la calzada

C (m)	ANCHO DE CALZADA EN TANGENTE (A _T), m		
	6.00	6.60	7.20
	0.60	0.75	0.90

Nota: Para calzada de ancho diferente se puede encontrar el valor por interpolación.

Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

F_A : Avance del voladizo delantero del vehículo sobre el carril adyacente, cuando está describiendo la trayectoria curva.

$$F_A = \sqrt{R_C^2 - Ax(2xL_1 + A)} - R_C$$

Donde: R_C : Radio de la curva, en metros.

A: Valor del voladizo o saliente delantero del vehículo, en metros Ver Tabla 15

L_1 : Dimensiones Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora, en metros. Ver Tabla 15

Z: Sobreancho adicional de seguridad, que depende de la curvatura y de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y cuyo propósito es facilitar la conducción sobre la curva, en metros. Este valor es experimental.

$$Z = 0,1x \sqrt{\frac{V_{CH}}{R_C}}$$

Donde: V_{CH} : Velocidad Específica de la curva, en km/h.

R_C : Radio de la curva, en metros.

“El valor calculado del sobreancho se debe redondear al decímetro superior. Todo el sobreancho requerido por la calzada se debe construir en el interior de la curva” (Transportes – Instituto Nacional de Vías, 2008).

2.2.4.3. Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada.

Según Transportes – Instituto Nacional de Vías (2008) sostiene que basándose en el estudio fue realizado por la AASHTO y presentado en el Manual de Diseño Geométrico de AASHTO – 2004 respecto a la distancia de visibilidad de parada se tomó 2.5 s. como tiempo de percepción – reacción.

A continuación se presentaran tablas 17 y 18 que se construyen tomando en cuenta el tiempo de percepción reacción de 2.5 segundos.

Tabla 17*Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel*

VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve	DISTANCIA PERCEPCIÓN-REACCIÓN	DISTANCIA DURANTE EL FRENADO A NIVEL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	
			CALCULADA	REDONDEADA
(km/h)	(m)	(m)	(m)	(m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

Tabla 18*Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente*

VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m) D _p					
	DESCENSO			ASCENSO		
	- 3%	- 6%	- 9%	+ 3%	+ 6%	+ 9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Fuente: Ministerio de Transporte de la República de Colombia

2.2.5. Manual de carreteras 2018 – Chile**2.2.5.1. Vehículo de diseño**

Respecto a la elección del vehículo tipo, el Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que “los vehículos se agrupan en cuatro categorías, que son las siguientes:

L = Vehículo Liviano: automóvil y camioneta.

C = Camión: camión simple de 11,0 m y bus interurbano de 12,1 m; 13,2 m y 14,0 m

VA1=Vehículo articulado corriente: tracto camión con semirremolque corriente.

VA2=Vehículo articulado especial: Tractocamión con semirremolque para automóviles”.

a. Vehículo Liviano (L)

“Cubre los diseños mínimos para automóviles y camionetas. Está representado por el Tipo P de AASHTO. Su utilización como vehículo tipo para el diseño debe reservarse sólo para aquellos casos en que el porcentaje de camiones que circulan sea muy bajo, que el espacio esté limitado o que la intersección sea de muy poca importancia. Los casos más frecuentes son:

- Vías Urbanas (bajo porcentaje de camiones y espacio limitado).
- Cruce de Carreteras Locales con Colectoras en que los movimientos de giro sean muy raros.
- Cruces de Carreteras Locales con muy poco tránsito.

Un vehículo tipo C, al hacer un giro mínimo diseñado para el vehículo L, podrá hacerlo invadiendo en parte las pistas adyacentes de entrada y/o salida. Si es posible, será preferible diseñar con el vehículo tipo C” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

b. Camiones y Buses (C)

El Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que Cubre los diseños mínimos para camiones (unidad simple) y buses interurbanos. Está representado por el Bus AASHTO (L = 12,1 m). Además, en el punto “Trazados Mínimos Absolutos de Bordes en Giros sin Canalización”, se amplían los radios mínimos para dar cabida al Bus Interurbano de 13,2 y 14,0 m autorizado en Chile. Su utilización como vehículo de diseño es, en la generalidad de los casos, el mínimo recomendable para los cruces de caminos rurales. Debe tenerse presente que en éstos el tránsito de vehículos tipo C es, por lo general, del orden o superior a 25% del tránsito total.

En áreas urbanas debe consultarse este vehículo tipo siempre que exista locomoción colectiva que utilice o que se prevea pueda llegar a circular por la intersección. Siempre que el porcentaje de C sea elevado, debe intentarse la superación de los límites que permite el vehículo tipo C.

Los buses interurbanos pueden inscribirse en un diseño tipo C sin problemas, y la generalidad de los VA lo pueden hacer con menos problemas que los que enfrenta un vehículo tipo C ante un diseño tipo L.

c. Vehículo Articulado VA1

“Cubre los diseños mínimos para el tractocamión con semirremolque corriente. Está representado por valores intermedios de los vehículos AASHTO WB-15 (L =16,7 m) y WB-19 (L = 21,0 m), que dan cabida al semirremolque corriente de 18,6 m autorizado en Chile. El vehículo VA1 debe ser elegido como vehículo tipo en aquellos cruces donde circulen o se prevea la presencia de tractocamiones con semirremolque corriente, que utilicen habitualmente y en número significativo los ramales de giro” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

d. Vehículo Articulado VA2

“Cubre los diseños mínimos del tractocamión con semirremolque para transporte de automóviles (L = 22,4 m) autorizado en Chile. Está representado por el semirremolque WB-20 de AASHTO. El vehículo VA2 sólo regirá el diseño en forma excepcional, cuando se prevea presencia significativa de grandes remolques de más de veinte metros de longitud” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

2.2.5.2. Sobreancho en curvas

Respecto al sobreancho en curvas circulares se tiene:

a. Aspectos generales:

“En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreancho requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las huelgas teóricas adoptadas, (valores medios). El sobreancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la Berma o el SAP correspondiente a la Categoría de la ruta.

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 pistas, son:

Tabla 19

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 pistas

Calzada de 7,0 m		Calzada de 6,0 m	
En Recta	En Curva Ensanchada	En Recta	En Curva Ensanchada
h_1 0,5 m	0,6 m	0,3 m	0,45 m
h_2 0,4 m	0,4 m	0,1 m	0,05 m
h_2 ext. 0,4 m	0,0 m	0,1 m	0,0 m

Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

Siendo:

h_1 = Huelga entre cada vehículo y el eje demarcado.

h_2 = Huelga entre la cara exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior de la pista 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.

h_2 ext. = Huelga entre el extremo exterior del parachoque delantero y el borde exterior de la calzada, h_2 ext $\approx h_2$ en recta y h_2 ext = 0 en curvas ensanchadas.

Las huelgas en curvas ensanchadas son mayores en calzadas de 7,0 m respecto de las 6,0 m, no sólo por el mayor ancho de calzada, sino que por las mayores velocidades de circulación que en ellas se tiene y por el mayor porcentaje de vehículos comerciales de grandes dimensiones.

El cálculo del ensanche o sobreaño en curvas se hará según se establece en Párrafo de sobreaño en curvas Literal b, para dos vehículos comerciales del mismo tipo que se crucen en calzadas bidireccionales o para el caso de adelantamiento en las unidireccionales.

El vehículo tipo (i) se seleccionará considerando el mayor vehículo comercial para el cual se prevea un flujo mayor o igual que el indicado a continuación, en cualquier época del año a la puesta en servicio de la obra. Se considerará el flujo del vehículo (i) más el de aquellos de mayor tamaño que no superaban el límite.

Calzada Bidireccional: Flujo ≥ 15 Veh Tipo i/día en ambas direcciones
Calzadas Unidireccionales: Flujo ≥ 40 Veh Tipo i/día en cada dirección.

Como mínimo se considerarán ensanches para dos vehículos tipo con $L_o = 9,5$ m, según se define en la Tabla 9. Según sean las características del trazado y función que preste la ruta, la Administradora Boliviana de Carreteras podrá definir

el Vehículo Tipo a considerar independientemente de la clasificación según flujos estipuladas precedentemente, así como para dimensiones diferentes de las señaladas en la Tabla 20 y que se acompaña” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

b. Cálculo del sobreancho

El Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que el cálculo detallado del sobreancho 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 en el Literal a; los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas que se presentan en la Tabla 20, columna E(m), las que permiten calcular el Ensanche Total requerido en una calzada de dos pistas (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7,0 y 6,0 m, empleando los parámetros de cálculo “Lo” para unidades simples (Camiones y Buses); L1 y L2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

Tabla 20

Ensanche de la calzada E(m) (permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2)

TIPO DE VEHICULO (Lt en m)	PARAMETRO DE CALCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LIMITE (m)
CALZADA EN RECTA 7,0 m (n=2) 0,5 m ≤ E ≤ 3,0 m; E = e.int + e.ext. $h_1=0,6$ m; $h_2=0,4$ m					
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$30 \leq R \leq 130$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$35 \leq R \leq 160$
Semitrailer Lt=16,4	L ₁ = 5,6 L ₂ = 10,0	$((L_1^2 + L_2^2)/R) - 0,20$	0,70 E	0,30 E	$45 \leq R \leq 190$
Semitrailer Lt=18,6*	L ₁ = 5,6 L ₂ = 12,2				$60 \leq R \leq 260$
Semitrailer Lt=22,4*	L ₁ = 5,6 L ₂ = 15,5				$85 \leq R \leq 380$

⁽¹⁾ Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

CALZADA EN RECTA 6,0 m (n=2) 0,35 m ≤ E ≤ 3,20 m $h_1=0,45$ m; $h_2=0,05$ m					
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) + 0,15$	0,55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 450$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) + 0,15$	0,55 E	0,45 E	$35 \leq R \leq 550$
Semitrailer Lt=16,4	L ₁ = 5,6 L ₂ = 10,0	$((L_1^2 + L_2^2)/R) + 0,20$	0,55 E	0,45 E	$45 \leq R \leq 650$
Semitrailer Lt=18,6*	L ₁ = 5,6 L ₂ = 12,2				$65 \leq R \leq 850$
Semitrailer Lt=22,4*	L ₁ = 5,6 L ₂ = 15,5				No corresponde a Caminos con Calzada 6,0 m.

⁽¹⁾ Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

Lt = Largo Total del Vehículo * Indica largo máximo legal

Unidades Simples (Camiones y Buses):

L₀ = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero.

Semitrailer:

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

L₂ = Distancia entre pivote mesa de apoyo y último eje del tandem trasero.

Camión con Acoplado: El conjunto con Lt = 20,5 m (máx legal) puede operar en los ensanches diseñados para el Semitrailer con Lt= 18,6 m y cualquier conjunto con Lt ≤ 19,5 m puede hacerlo en los diseños para el Semitrailer con Lt = 16,4 m.

Tabla 21

Ensanche de la calzada en caminos con $V_p \leq 60$ km/h alternativa con calzada en recta 7,0 m ($n=2$) y $h_1 = 0,45$ m; $h_2 = 0,05$; $0,35$ m $\leq E \leq 3,0$ m

TIPO DE VEHICULO (Lt en m)	PARAMETRO DE CALCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LIMITE (m)
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(L_0^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$25 \leq R \leq 75$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(L_0^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 95$
Semitrailer Lt=16,4	L ₁ = 5,6 L ₂ = 10,0	$((L_1^2 + L_2^2)/R) -$ 0,80	0,55 E	0,45 E	$35 \leq R \leq 115$
Semitrailer Lt=18,6*	L ₁ = 5,6 L ₂ = 12,2	$((L_1^2 + L_2^2)/R) -$ 0,80	0,55 E	0,45 E	$50 \leq R \leq 155$
Semitrailer Lt=22,4*	No corresponde a caminos con $V_p \leq 60$ km/h				

Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

Adicionalmente la Tabla 10 indica la proporción del ensanche total que se debe dar a el carril interior “e.int” y a el carril exterior “e.ext”.

El Ensanche Total “E(m)” se limitará a un máximo de 3,0 m y un mínimo de 0,5 m en calzadas de 7,0 m y a un máximo de 3,20 m y un mínimo de 0,35 m en calzadas de 6,0 m.

La columna “Radios Límite” indica que radios menores o mayores que los allí indicados requieren ensanches mayores o menores que los límites antes definidos.

“En Caminos Locales y de Desarrollo con calzada de 6,0 m de ancho, pueden existir curvas con radios menores o iguales que 65 m, los que según sea el vehículo tipo considerado, requerirían ensanches mayores que los máximos establecidos, no siendo posible entonces el cruce de dos vehículos tipo dentro de

la curva; en estos casos sólo se podrán cruzar dentro de la curva un vehículo comercial tipo y un vehículo liviano, debiendo los vehículos comerciales que requieren ensanches mayores hacerlo en los tramos rectos. Si no existen tramos rectos de longitud suficiente y se da una sucesión de curvas restrictivas respecto de los ensanches requeridos por el vehículo tipo considerado, se deberá estudiar uno o más ensanches especiales al interior de dicho tramo. Simultáneamente, el rango de radios que requieren ensanche crece significativamente para los Vehículos Tipo de mayor tamaño.

Considerando lo expuesto precedentemente, en caminos en que se consulte una calzada normal de 6,0 m de ancho, y $V_p \leq 60$ km/h, si existen tramos de trazado sinuoso con curvas cuyos radios estén en el orden de los mínimos correspondientes a la velocidad de proyecto (trazados en montaña o similares), se analizará la conveniencia y se propondrá a la Administradora Boliviana de Carreteras, ensanchar la calzada del tramo a 7,0 m de ancho y, considerar en las curvas huelgas iguales a las previstas para las calzadas de 6,0 m. Si la Administradora Boliviana de Carreteras acoge la proposición, el ensanche de las curvas se calculará mediante las expresiones que figuran en la Tabla 10” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

c. Sobreancho en calzadas de menos o más de 2 pistas

El Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) afirma que las calzadas de 1 pista ($n = 1$) se asocian a los ramales de intersecciones y enlaces o dispositivos similares y, en consecuencia, el ancho total de la calzada de una pista se obtendrá de la Tabla titulada “Anchos de pavimento y bermas de Ramales del Capítulo de “Intersecciones”, considerando las situaciones descritas para los Casos I ó II, el vehículo tipo que corresponda y el radio de la curva en cuestión. El caso III que allí figura, que corresponde a $n = 2$, se empleará sólo en el caso de ramales, abordándose los ensanches en las carreteras y caminos según se expuso en el Literal b.

“En Carreteras y Caminos Unidireccionales con anchos de carril de 3,5 m, se pueden dar casos con $n=3$ ó más. En estos casos, los vehículos comerciales circularán habitualmente por las dos pistas exteriores de cada calzada y, el radio a considerar para el ensanche de esas dos pistas será el radio efectivo según la arista común a ambas pistas, que correspondería a la calzada sin ensanchar, calculándose para ellas los ensanches como si se tratara de una calzada de dos

pistas. La tercera pista, por la cual no circularán vehículos comerciales en zonas de curvas restrictivas, se ensanchará en un 40% del ensanche que se calculó para la pista adyacente y ello con el objeto de crear una huelga respecto del extremo del parachoques delantero del vehículo comercial que podría estar describiendo una trayectoria coincidente con la línea que separa ambas pistas. Si el ensanche resultante es menor que 0,25 m, no se hará el ensanche. Para una eventual cuarta pista no se considerarán ensanches” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

d. Desarrollo del sobreebanco en arcos de enlace

“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 ensanche, se dará en una longitud de 40 m, empleando para ello parcial o totalmente la clotoide que precede a la curva. Si el arco de enlace es menor de 40 m el desarrollo del sobreebanco se ejecutará en la longitud del arco de enlace disponible y si es mayor de 40 m la transición de ancho se iniciará 40 m antes del PC. Del mismo modo, pero en sentido inverso se actuará a la salida de la curva circular a partir del FC” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

Además, el Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que el desarrollo del sobreebanco se dará siempre dentro de la curva de enlace, adoptando una variación lineal con el desarrollo, generando el ensanche en el costado de la ruta que corresponde al interior de la curva, empleando para ello la expresión:

$$e_n = (E/L) \cdot l_n$$

Siendo:

E = Ensanche total calculado según Tabla 20 o Tabla 21

e_n = Ensanche parcial correspondiente a un punto distante “ l_n ” metros desde el origen de la transición.

L = Longitud Total del desarrollo del sobreebanco, dentro de la clotoide.

La ordenada “ e_n ” se medirá normal al eje del trazado en el punto de abscisa “ l_n ” y el borde interior de la calzada distará del eje ($a + e_n$), siendo “ a ” el ancho normal de un carril en recta.

e. Demarcación del eje de las pistas ensanchadas

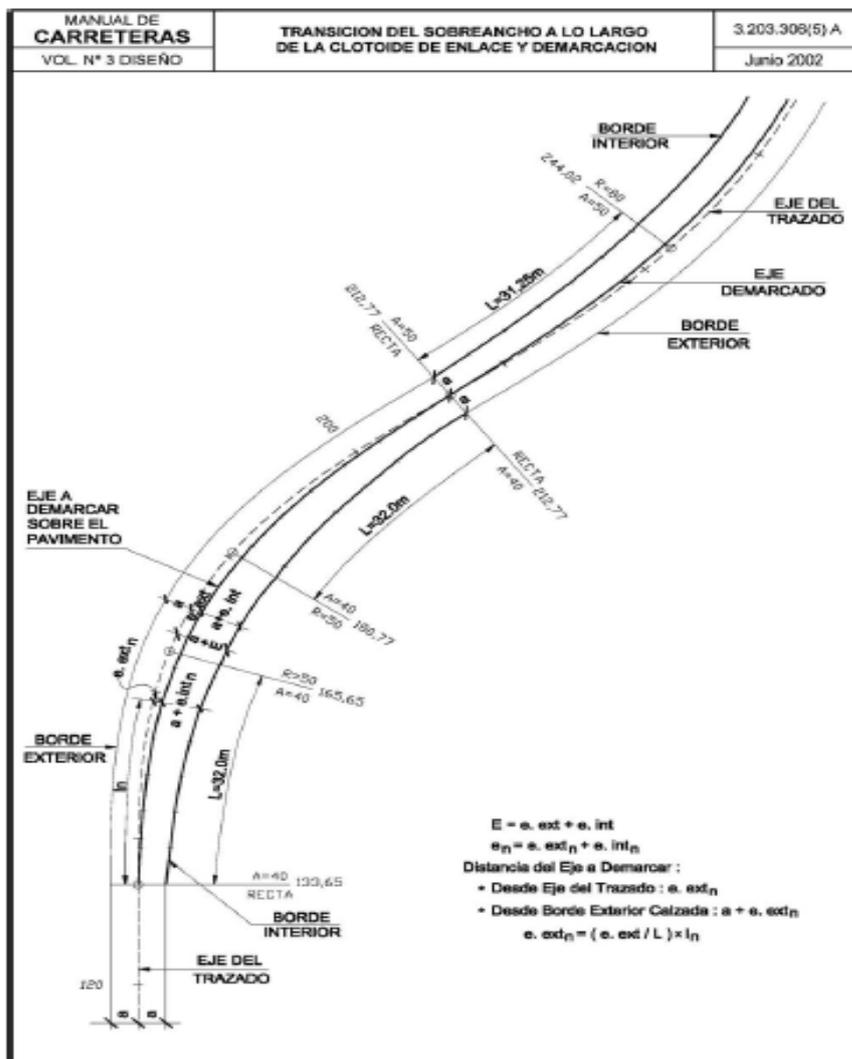
“Según se establece en las Tabla 20 y Tabla 21, el ensanche total correspondiente a la pista exterior (e_{ext}) es diferente del de la pista interior (e_{int}),

influyendo en ello el ancho de la calzada normal las huelgas y el vehículo tipo considerado” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018, p.190).

Así mismo el Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que en la Figura 11 se ilustra la posición del eje a demarcar, el que dista según una normal, la distancia e.ext a partir del eje de trazado, o bien, si el eje del trazado no está disponible sobre el pavimento, a una distancia (a+e.ext) del borde exterior del pavimento. Los valores parciales de e.ext_n se calcularán igual que para en según lo expuesto en el Literal d. Los valores de “l_n” se deben medir según el eje del trazado (por la clotoide) y si este no está definido sobre el pavimento, según la curva distante “a” metros del borde exterior del pavimento” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018, p.190).

Figura 11

Transición del sobrecancho a lo largo de la clotoide de enlace y demarcación



Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

f. Desarrollo del sobreancho en caminos de desarrollo

“Las curvas que requerirán sobreanchos en los Caminos de Desarrollo se asocian a velocidades de diseño ≤ 50 kph, es decir velocidades de operación moderadas. En estas circunstancias un desarrollo de 40 metros en la recta precedente resulta adecuado cualquiera que sea la magnitud del ensanche y, si el tramo recto es de menor longitud, el ensanche deberá desarrollarse en la longitud existente, la que en todo caso se procurará no sea menor de 30 m.

Si el camino no posee pavimento la transición del ensanche total se generará linealmente, tal como si existiera una clotoide, pero en este caso a lo largo de la recta que precede al PC.

Si el Camino de Desarrollo posee pavimento, el ensanche total del borde interior se dará mediante el curvoide definido en la Tabla 22, que entrega las relaciones de abscisa y ordenada correspondiente a la curva seleccionada para generar los ensanches” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

Tabla 22

Desarrollo del sobreancho para curvas circulares sin curva de enlace

I_n/LT	e_n/E	I_n/LT	e_n/E
0,00	0,00	0,60	0,681
0,10	0,013	0,70	0,834
0,20	0,063	0,75	0,893
0,25	0,107	0,80	0,937
0,30	0,166	0,90	0,987
0,40	0,319	1,00	1,00
0,50	0,50		

Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

I_n = Abscisa de un punto entre el origen y el final del desarrollo, medido a partir del origen (m)

LT = Longitud total para desarrollar el sobreancho, normalmente 40 m.

e_n = Sobreancho correspondiente al punto de abscisa I_n (m)

E = Sobreancho total requerido (m)

“La Demarcación del eje de las pistas ensanchadas de un Camino de Desarrollo que cuenten con pavimento, se definirá incrementando linealmente el ancho de la pista exterior, tal como si existiera una clotoide, pero en este caso a lo largo de la recta que precede al PC” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

Además, el Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) sostiene que “si dos curvas sucesivas en el mismo sentido de un Camino de Desarrollo, requieren ensanches E' y E'' , y la recta intermedia es menor o del orden de 80 m, la transición del sobreancho se realizará decreciendo linealmente hasta el punto medio de la longitud disponible si $E' > E''$, para desde allí mantener el valor de E'' hasta alcanzar el PC de la curva que lo requiere. Si $E' < E''$, se mantendrá el ensanche E' hasta el punto medio de la recta, para desde allí crecer linealmente hasta el E'' que se debe alcanzar en el PC de la próxima curva”.

g. Aspectos constructivos

“En los casos que la calzada posea pavimento de hormigón, cualquiera sea la categoría de la Carretera o Camino, el sobreancho se iniciará con 0,5 m manteniéndose este ancho constante hasta que la ordenada correspondiente alcance dicho valor, para de allí seguir con la variación que le corresponde según los procedimientos definidos para rutas con o sin clotoide de enlace.

Los sobreanchos en hormigón deberán llevar barra de amarre en la junta longitudinal, del mismo tipo que los utilizados entre carriles de la calzada” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

h. Casos especiales

“En aquellos Caminos en que el volumen de tránsito, la composición del mismo y tipo de camiones que circulan lo justifique, la Administradora Boliviana de Carreteras podrá autorizar el empleo de valores de L_0 ; L_1 y L_2 distintos de los indicados en la Tabla 20” (El Ministerio de Obras Públicas Chile, 2018).

2.2.5.3. Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada

Según el Ministerio de Obras Públicas Chile (2018) se sostiene que el tiempo que se usa en de 2 segundos mostrado en la Tabla 23, Tabla 24 y Figura 12.

Tabla 23

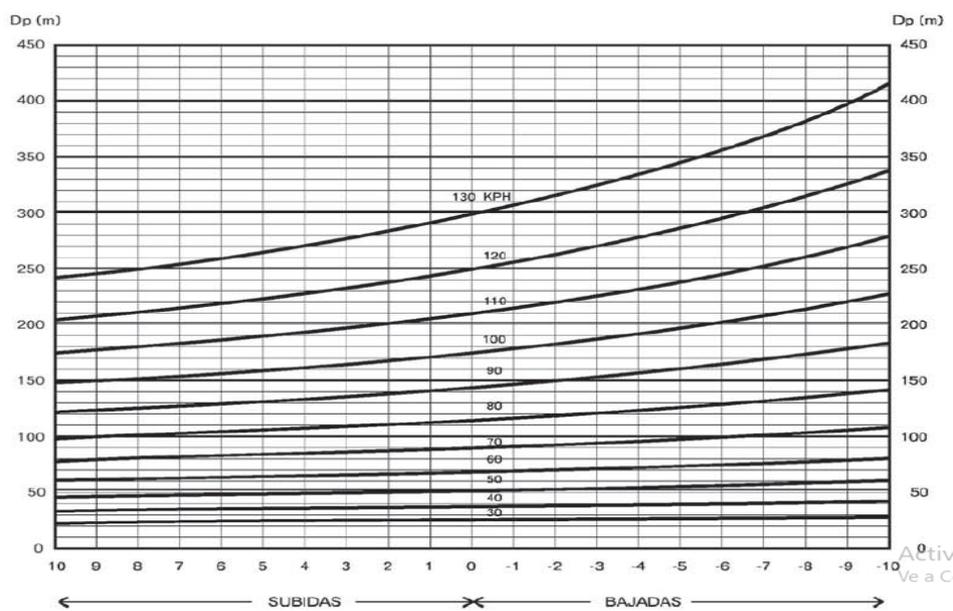
Distancia de Frenado en horizontal "DF" ($DF = 0,555 V + 0,00394 V^2/R$)

V km/h	tp s	r -	dtp m	df m	Dp(m)		V km/h
					dtp+df	Adopt.	
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35						31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45						44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55						60	55
60	2	0,400	33,3	35,5	68,8	70	60
65						80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75						102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85						130	85
90	2	0,340	50,0	93,9	143,8	145	90
95						160	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105						192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115						230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125						275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

Figura 12

Ilustración gráfica



Nota. Fuente: Ministerio de Obras Públicas Chile (2018)

Tabla 24

Tabla numérica equivalente

V (KPH) →		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
EN SUBIDA + i %	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
(1)	0	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250	300
EN BAJADA - i %	-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

Nota. Valores redondeados según Tabla 23. Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2007)

2.3. Marco conceptual

- **Vehículo de diseño:** Según el Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías. (2008), el vehículo de diseño es el vehículo representativo de todos los vehículos que puedan circular por una vía. Además, según AASHTO (1994) sostiene que es necesario examinar todos los tipos de vehículos, seleccionar agrupamientos de clase general y establecer vehículos de tamaño representativos de cada clase, para uso en el diseño.
- **Sobrancho en curvas:** Es la diferencia entre el ancho requerido en una curva, W_0 , y el usado en una recta, W_n (AASHTO, 1994). Así mismo el Manual AASHTO versión 2004 presenta el procedimiento para la determinación del sobrancho requerido en una curva referente al vehículo articulado (Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías, 2008).
- **Tiempo de percepción reacción:** El tiempo de reacción de frenado, es el intervalo entre el instante en que el conductor reconoce la existencia de un objeto, o peligro sobre la plataforma, adelante y el instante en que realmente aplica los frenos (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2018). Además, ASSTHO (1994) afirma que aproximadamente el 90 por ciento de los

conductores de su primer estudio encontró que era adecuado un tiempo de reacción de 2.5 seg. Y dicho tiempo es usado en la fórmula para calcular la mínima distancia de visibilidad de detención, para pavimentos húmedos y para varias velocidades.

2.4. Sistema de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis

Las propuestas de la estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de Sudamérica son adecuadas para actualizar el manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018

2.4.2. Variables e indicadores (cuadro de operacionalización de variables)

- **Variable independiente** (Estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de Sudamérica): Esta en base a la estandarización del diseño geométrico de las normas de los otros países de Sudamérica. Así mismo Quispe y Poma (2019) al referirse a la estandarización de un aspecto del diseño geométrico sostiene que dicha estandarización es el mínimo nivel que se debe tomar en cuenta para elaborar el diseño geométrico.
- **Variable dependiente** (Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018): Es uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio, por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local (MTC, 2018)
- **Operacionalización de las variables:** Se realizó en la tabla 25.

Tabla 25*Operacionalización de las variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable Dependiente: Estandarización de diseño geométrico a través del análisis de estándares de otros países de Sudamérica):	Vehículo de diseño. Sobreancho Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada	- Camión - Vehículo articulado Las fórmulas de sobreanchos están en función del tipo de vehículo de diseño. Se usará tiempo de percepción reacción 2.5 segundos. Y habrá cuadros de distancia de reacción de frenado solo para 2.5 segundos.	Tesis en base a los estándares propuestos para la actualización del DG 2018
Variable Independiente: Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG 2018	Vehículo de diseño Sobreancho en curvas Tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada	Vehículo comercial rígido (camiones y/o buses) La fórmula de sobreancho está en función al vehículo del diseño rígido Se recomienda usar tiempo de percepción reacción de 2.5 segundos. Pero hay cuadros de distancia de visibilidad de parada que usan un tiempo de percepción reacción menor a 2.5 segundos	DG 2018

Nota. Elaboración propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Correlacional - Descriptivo

3.1.2. Nivel de investigación

El enfoque del presente estudio adopta un nivel de investigación descriptiva, puesto que identificar y compara el vehículo de diseño, sobreelección en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada en las normas de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile. Para luego determinar las propuestas de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018

3.2 Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Se considera a las normas de diseño geométrico de carreteras de los países de Sudamérica.

3.2.2. Muestra

Se considera a las normas de diseño geométrico de carreteras de los países de Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia y Chile

3.3. Diseño de investigación

Tendrá un diseño de investigación no experimental, además según su temporización diseño transversal correlacional. El enfoque de investigación será mixto (cualitativa- cuantitativa), debido a que supone el proceso de recopilación de datos, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos.

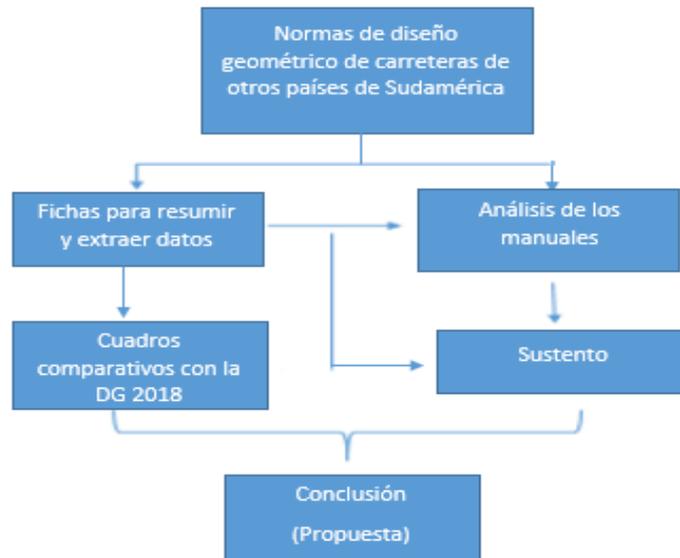
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizará la búsqueda de las normas de diseño geométrico de carreteras internacionales y nacional, también se hará la elaboración de fichas técnicas en cuanto al vehículo de diseño, sobreelección en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada, sacando de esta manera cuadros comparativos de las distintas normas de los otros países de Sudamérica y la norma de diseño geométrico del Perú. Seguidamente se realizará el análisis con el fin de lograr un sustento, de tal modo que con este soporte y los cuadros

comparativos se realice una conclusión (propuesta) en cuanto al diseño geométrico respecto al vehículo de diseño, sobrealto en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada, como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Flujo-grama de procedimientos de relación de datos



Nota. Fuente: Adaptado de Quispe y Poma, 2019

3.5. Procedimientos y análisis de datos

En la primera etapa se reunió toda la información de las normas de diseño geométrico de carreteras de otros países de Sudamérica (Ecuador, Bolivia, Colombia y Chile) y de Perú, también documentos y tesis tanto nacionales como internacionales, sobre diseño geométrico de carreteras (vehículo de diseño, sobrealto en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada), para luego ser analizados y comparados, para efectuar la propuesta de actualización de los parámetros de diseño geométrico para el vehículo de diseño, sobrealto en curvas y tiempo de percepción respecto a la distancia de visibilidad de parada, así se seguirán los siguientes pasos:

- Se realizará fichas de resumen de las normas de diseño geométrico de carreteras de otros países de Sudamérica
- Se analizará y comparará la información las normas de otros países de Sudamérica y de Perú

- Tablas de doble entrada
- Cuadros comparativos

Para el análisis de la información se efectuará el estudio de las normas de diseño geométrico de carreteras de otros países de Sudamérica para obtener información de los estándares de diseño geométrico para el vehículo de diseño, sobreebancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada, para poder realizar un cuadro de resultados para la propuesta de actualización del Manual de Carreteras – Diseño Geométrico DG 2018.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Revisión de las normas de otros países de Sudamérica

A continuación, se elaborarán fichas de resumen (tablas) y se analizarán respecto al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada de las normas de diseño geométrico de carreteras de otros países de Sudamérica los cuales son Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, que se muestra. Para poder sacar resultados de su diseño geométrico y de este modo proponer la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018

4.1.1.1. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador. Se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador, referente al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción (Tp) referente a la distancia de visibilidad de parada (Dp)

Normas de Diseño Geométrico de Carreteras - Ecuador		
Vehículo de diseño	Sobreebanco en curvas	Tp referente a Dp
Debe ser un vehículo representativo del tránsito de la ruta.	<p>Fórmula para el cálculo del sobre ancho para vehículo rígido: $S = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{v}{10\sqrt{R}}$</p> <p>Donde: S es igual el sobreebanco y los demás valores se encuentran en 4.2.2.</p> <p>Fórmula para el cálculo del sobre ancho para vehículo articulado: $S_a = A_c - A_r$, se sabe que:</p> <p>$= u + \sqrt{R^2 - L^2}$; $FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R$</p> <p>$Z = \frac{v}{10\sqrt{R}}$; $A_c = 2(U + C) + FA + Z$</p> <p>Donde: S_a es igual el sobreebanco y los demás valores se encuentran en 2.2.2.2.</p>	2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos (Tabla 6 y 7)

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 26, se observa que la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Ecuador está en función al vehículo representativo del tránsito de la ruta. Así mismo, la norma tiene la fórmula para el cálculo del sobreebanco en curvas tanto para vehículo rígido como para articulado. Además, respecto al tiempo de

percepción reacción la norma establece 2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos.

4.1.1.2. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia. Se muestra en la tabla 27.

Tabla 27

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – Colombia referente al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada.

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - Colombia		
Vehículo de diseño	Sobreebanco en curvas	Tp referente a Dp
Debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito.	<p>Fórmula para el cálculo del sobre ancho para vehículo rígido: $s = nx(R_C - \sqrt{R_C^2 - L^2})$</p> <p>De la Figura 8 se puede deducir que: $\overline{OK} = R'$</p> <p>Además,</p> $s = R' - \overline{OL}; s = R' - \sqrt{R^2 - L^2}$ <p>Donde: s es igual el sobreebanco y los demás valores se encuentran en 4.4.2.</p> <p>Fórmula para el cálculo del sobre ancho para vehículo articulado: $S = A_C - A_T$, se sabe que:</p> $A_C = nx(U + C) + (n - 1)xF_A + Z;$ $F_A = \sqrt{R_C^2 - Ax(2xL_1 + A)} - R_C$ $U = u + R_C - \sqrt{R_C^2 - (L_1 + L_2 + L_3)^2}$ $Z = 0,1x\sqrt{\frac{V_{CH}}{R_C}}$ <p>Donde: S es igual el sobreebanco y los demás valores se encuentran en 2.2.4.2.</p>	2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos (Tabla 17 y 18)

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27, se observa que la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Colombia está en función a que dicho vehículo corresponda con la composición del tránsito. Así mismo, la norma tiene la fórmula para el cálculo del sobreebanco en curvas tanto para vehículo rígido como para articulado. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos.

4.1.1.3. Manual de diseño geométrico de Bolivia. Se muestra en la tabla 28

Tabla 28

Manual de diseño geométrico – Bolivia, referente al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada

Manual de Diseño Geométrico - Bolivia		
Vehículo de diseño	Sobreebanco en curvas	Tp referente a Dp
Establece condiciones para la elección del vehículo de diseño, el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Cuyas condiciones de uso se establecen en 2.2.3.1.	Se determinan las huelgas (ensanches) 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, en la tabla 8. Además, se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(M) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas H1 y H2, según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la Tabla 9 Así mismo se establece el cálculo del ensanche de la calzada en caminos con VP ≤ 60 KM/H alternativa con calzada en recta 7,0 M (N=2) Y H1 = 0,45 M; H2 = 0,05; 0,35 M ≤ E ≤ 3,0 M en la tabla 10. Y demás aspectos respecto a sobreebanco en curvas se pueden encontrar en 2.2.3.2.	2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos (Tabla 12 y 13 y la figura 7)

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 28, se observa que para la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Bolivia se establecen condiciones y los vehículos de diseño pueden ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Así mismo, la norma establece las fórmulas para el cálculo del sobreebanco según sea el tipo de vehículo. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos.

4.1.1.4. Manual de carreteras de Chile: Se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Manual de carreteras – Chile, referente al vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada.

Manual de Carreteras - Chile		
Vehículo de diseño	Sobreebanco en curvas	Tp referente a Dp
<p>Establece condiciones para elección del vehículo de diseño, el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Cuyas condiciones de uso se establecen en 2.2.5.1.</p>	<p>Se determinan las huelgas (ensanches) 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 pistas, en la tabla 19. Además, se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(m) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2, según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 20. Así mismo se establece el cálculo del ensanche de la calzada en caminos con $VP \leq 60$ km/h alternativa con calzada en recta 7,0 m ($n=2$) y $h_1 = 0,45$ m; $h_2 = 0,05$; $0,35$ m $\leq E \leq 3,0$ M en la tabla 21. Y demás aspectos respecto a sobreebanco en curvas se pueden encontrar en 2.2.5.2.</p>	<p>2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos (Tabla 23 y 24 y la figura 12)</p>

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29, se observa que para la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Chile se establecen condiciones y los vehículos de diseño pueden ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Así mismo, la norma establece las fórmulas para el cálculo del sobreebanco según sea el tipo de vehículo. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos.

Seguidamente se procede a realizar cuadros comparativos específicos respecto al vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción referente distancia de visibilidad de parada, de las normas de diseño geométrico de carreteras de los otros países de Sudamérica y Perú. Finalmente, mediante tablas se muestra la propuesta de actualización en cuanto al vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción referente distancia de visibilidad de parada.

4.1.2. Cuadros comparativos

4.1.2.1. Vehículo de diseño. Se procede a comparar los parámetros de elección del vehículo de diseño de las 4 diferentes normas de otros países de Sudamérica y el Manual de Carreteras DG-2018 del Perú en la Tabla 30. Seguidamente se hace una evaluación y se propone los parámetros de diseño geométrico para la elección del vehículo de diseño para la propuesta de actualización de la investigación

Tabla 30

Comparación de vehículo de diseño

Normas	Vehículo de diseño
Ecuador	Debe ser un vehículo representativo del tránsito de la ruta.
Colombia	Debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito.
Bolivia	Establece condiciones para elección del vehículo de diseño, el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial Cuyas condiciones de uso se establecen en 2.2.3.1.
Chile	Establece condiciones para elección del vehículo de diseño, el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Dichas condiciones de uso se establecen en 2.2.5.1. Además, usa el termino de pista para referirse al carril.
DG-2018	El vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses).

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se nos muestra los parámetros de elección de vehículo de diseño, en la cual Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile dejan libertad de elección del vehículo de diseño con la condición que sea un vehículo representativo de la composición del tránsito, mientras que la DG 2018 establece que el vehículo de diseño sea el vehículo rígido. Así mismo Ecuador y Colombia tienen el mismo parámetro,

mientras que Bolivia y Chile además de considerar un vehículo representativo, establecen las condiciones para la elección del vehículo de diseño el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial, lo único que los diferencia es el uso de la palabra pista al referirse al carril en la norma de Chile.

a) Sobreancho en curvas

Se procede a comparar los parámetros de elección del sobreancho en curvas de las 4 diferentes normas de otros países de Sudamérica y el Manual de Carreteras DG-2018 del Perú en la Tabla 31. Seguidamente se hace una evaluación y se propone los parámetros de diseño geométrico para la elección del sobreancho en curvas para la propuesta de actualización de la investigación

Tabla 31*Comparación de sobreancho en curvas*

Normas	Sobreancho en curvas
Ecuador	Sobreancho para vehículo rígido: $S = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$ Sobre ancho para vehículo articulado: $S_a = A_c - A_r ; A_c = 2(U + C) + FA + Z$
Colombia	Sobreancho para vehículo rígido: $s = nx(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2})$ Sobre ancho para vehículo articulado: $S = A_c - A_T ;$ $A_c = nx(U + C) + (n - 1)xF_A + Z$
Bolivia	Se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(M) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas H1 y H2, según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 9. Y demás aspectos respecto a sobreancho en curvas se pueden encontrar en 2.2.3.2.
Chile	Se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(m) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2 , según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 20. Y demás aspectos respecto a sobreancho en curvas se pueden encontrar en 2.2.5.2. Además, usa el termino de pista para referirse al carril.
DG-2018	Fórmula para el cálculo del sobre ancho para vehículo rígido: $S_a = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$ Donde: Sa es igual el sobreancho y los demás valores se encuentran en 2.2.1.2.

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 31 se muestran los parámetros de sobreancho en curvas en la cual los países de Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, tiene la fórmula para el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, mientras que la DG 2018 establece que el solo la fórmula para el cálculo del sobreancho en base al vehículo rígido. Así mismo Ecuador y Colombia tienen parámetro similar, mientras que Bolivia y Chile además de considerar el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado,

establecen las fórmulas según sea el tipo de vehículo (camión, bus corriente, bus de turismo de $L_t= 13.2$, bus de turismo de $L_t=14.0$, semitrailer de $L_t = 16.4$, semitrailer de $L_t =18.6$ y semitrailer de $L_t =22.4$).

b) Tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada

Se procede a comparar los parámetros de elección del tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada de las 4 diferentes normas de otros países de Sudamérica y el Manual de Carreteras DG-2018 del Perú en la Tabla 32. Seguidamente se hace una evaluación y se propone los parámetros de diseño geométrico para la elección del tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada para la propuesta de actualización de la investigación.

Tabla 32

Comparación de tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada

Normas	Tiempo de percepción reacción
Ecuador	2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos (Tabla 6 y 7)
Colombia	2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos (Tabla 17 y 18)
Bolivia	2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos (Tabla 12 y 13 y la figura 7).
Chile	2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos (Tabla 23 y 24 y la figura 12)
DG-2018	2.5 segundos, pero hay una figura de D_p que usa un T_p menor a 2.5 segundos (Figura 3)

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°32 se nos muestra los parámetros de tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada en la cual Bolivia y Chile establecen 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos. Además, Ecuador y Colombia establecen 2.5 segundos para dicho tiempo y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5

segundos. Asimismo, la DG 2018 establece 2.5 segundos, pero hay una gráfica que usa un tiempo menor a 2.5 segundos para la distancia de visibilidad de parada.

4.2. Propuesta de actualización del manual DG 2018

Como consecuencia de la revisión de Normas de diseño geométrico de carreteras de otros países de Sudamérica, se logró hacer una propuesta de parámetros de diseño geométrico tocando los puntos de vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente distancia de visibilidad de parada. La tabla 33 que será mostrada a continuación nos enseña un resumen del análisis y la propuesta

Tabla 33

Propuesta de actualización de diseño geométrico respecto a vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y Tp referente a Dp

Normas	Vehículo de diseño	Sobreebanco en curvas	Tp referente a la Dp
Ecuador	Debe ser un vehículo representativo del tránsito de la ruta.	Sobreebanco para vehículo rígido: $S = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$ Sobreebanco para vehículo articulado: $S_a = A_c - A_r$; $A_c = 2(U + C) + FA + Z$	2.5 segundos y las tablas para la Dp usan 2.5 segundos
Colombia	Debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito.	Sobreebanco para vehículo rígido: $s = nx(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2})$ Sobreebanco para vehículo articulado: $S = A_c - A_T$; $A_c = nx(U + C) + (n - 1)xF_A + Z$	2.5 segundos y las tablas para la Dp usan 2.5 segundos
Bolivia	Establece condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.3.1.	Se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(M) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas H1 y H2, según sea el tipo de vehículo y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 9. Y demás aspectos respecto a sobreebanco en curvas se pueden encontrar en 2.2.3.2.	2 segundos y las tablas y figura para la Dp usan 2 segundos
Chile	Establece condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.5.1.	Se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(m) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2 , según sea el tipo de vehículo y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 20. Y demás aspectos respecto a sobreebanco en curvas se pueden encontrar en 2.2.5.2.	2 segundos y las tablas y figura para la Dp usan 2 segundos
Propuesta	Establece condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.3.1.	Se determina el cálculo del ensanche de la calzada E(m) que permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo manteniendo huelgas h_1 y h_2 , según sea el tipo de vehículo y según sea para calzada de 6m o 7m, el cual se encuentra en la tabla 9. Y demás aspectos respecto a sobreebanco en curvas se pueden encontrar en 2.2.3.2.	2.5 segundos y las tablas para la Dp usan 2.5 segundos

Nota. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 muestra los estándares de la elección del vehículo de diseño, en la cual se propone establecer condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.3.1. del manual de Bolivia y tales estándares son las mismas que tiene la norma de Chile con la única diferencia que la norma de Chile usa la palabra pista al referirse al carril.

Así mismo, referente al sobreancho en curvas en la cual se propone como referencia de estandarización al sobreancho en curvas según tipo de vehículo contenido en 2.2.3.2. del manual de Bolivia el cual establece las fórmulas para determinar el sobreancho en curvas de acuerdo al tipo de vehículo de diseño, al igual que la norma de Chile con la única diferencia que la norma de Chile usa la palabra pista al referirse al carril.

Además, respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, en la cual se propone mantener el tiempo de 2.5 segundos y que solo se mantengan los cuadros que usen tiempo de 2.5 respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, así como lo hacen las normas de Ecuador y Colombia, es decir la gráfica que se muestra de la Figura 3, de debe ser retirada del manual DG 2018 para evitar la ambigüedad.

4.3. Docimasia de hipótesis

Al identificar y comparar las normas de Ecuador, Colombia, Bolivia, Chile y Perú referente a vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada y haber establecido la propuesta de actualización del manual DG 2018, nos permite validar la hipótesis planteada, ya que los estándares de otros países de Sudamérica referente a vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada son adecuados para actualizar el manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El desarrollo de la discusión de resultados se llevará a cabo en diferentes aspectos, en primer lugar, daremos cuenta: Se analizarán las normas de diseño geométrico de carreteras de los otros países de Sudamérica. A continuación, analizaremos los resultados de las normas otros países de Sudamérica y el DG 2018 de según vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada. Finalmente se analizará la propuesta para la actualización de la norma DG 2018.

Los resultados de este trabajo según vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada de la Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (Tabla 26), muestran que la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Ecuador está en función al vehículo representativo del tránsito de la ruta. Así mismo, la norma tiene la fórmula para el cálculo del sobreechancho en curvas tanto para vehículo rígido como para articulado. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos, por lo que se puede decir que si el vehículo de diseño elegido es rígido o articulado si existe forma de calcular el sobre ancho en curvas.

Tratando de explicar los resultados del vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada de la Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador, citamos a AASHTO que en el año 1994 establece que es necesario examinar todos los tipos de vehículos, seleccionar agrupamientos de clase general y establecer vehículos de tamaño representativos de cada clase, para uso en el diseño. Así mismo sostiene que un tiempo de reacción de 2.5 segundos se usa para calcular la mínima distancia de visibilidad de detención. Además, según el Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías en el año 2008 sostiene que el Manual AASHTO versión 2004 presenta el procedimiento para la determinación del sobreechancho requerido en una curva referente al vehículo articulado.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 26, en la que se evidencia la elección del vehículo de diseño al vehículo representativo del tránsito de la ruta, que tiene fórmulas para sobreechancho tanto para rígido como para

articulado y usa 2.5 segundos como tiempo de percepción reacción, quiere decir que coincide con la norma AASHTO ya sea de 1994 respecto a la elección del vehículo o tiempo de percepción reacción o con otra versión más actualizada como la de 2004 respecto a sobreebanco en curvas.

También los resultados según vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia (Tabla 27), muestran que la elección del tipo de vehículo de diseño que se usa en Colombia debe corresponder con la composición del tránsito. Así mismo, la norma tiene la fórmula para el cálculo del sobreebanco en curvas tanto para vehículo rígido como para articulado. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2.5 segundos y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos, por lo que se puede decir que si el vehículo de diseño elegido es rígido o articulado si existe forma de calcular el sobre ancho en curvas.

Queriendo explicar los resultados del vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia, citamos a AASHTO que en el año 1994 establece que es necesario examinar todos los tipos de vehículos, seleccionar agrupamientos de clase general y establecer vehículos de tamaño representativos de cada clase, para uso en el diseño. Así mismo sostiene que un tiempo de reacción de 2.5 segundos se usa para calcular la mínima distancia de visibilidad de detención. Además, según el Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías en el año 2008 sostiene que el Manual AASHTO versión 2004 presenta el procedimiento para la determinación del sobreebanco requerido en una curva referente al vehículo articulado.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 27, en la que se evidencia la elección del vehículo de diseño al vehículo que debe corresponder con la composición del tránsito, que tiene fórmulas para sobreebanco tanto para rígido como para articulado y usa 2.5 segundos como tiempo de percepción reacción, quiere decir que coincide con la norma AASHTO ya sea de 1994 respecto a elección del vehículo o tiempo de percepción reacción o con otra versión más actualizada como la de 2004 respecto a sobreebanco en curvas.

Además, los resultados según vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de diseño geométrico de Bolivia (Tabla 28), muestran que para la elección del tipo de vehículo de diseño en Bolivia se establecen condiciones y los vehículos de diseño pueden ser liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Tales condiciones de uso se establecen en 2.2.3.1. Así mismo, la norma tiene las fórmulas para el cálculo del sobreancho en curvas según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas, según 2.2.3.2. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos.

Intentando explicar los resultados del vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de diseño geométrico de Bolivia, citamos a AASHTO que en el año 1994 establece que es necesario examinar todos los tipos de vehículos, seleccionar agrupamientos de clase general y establecer vehículos de tamaño representativos de cada clase, para uso en el diseño. Así mismo sostiene que un tiempo de reacción de 2.5 segundos se usa para calcular la mínima distancia de visibilidad de detención. Además, según el Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías en el año 2008 sostiene que el Manual AASHTO versión 2004 presenta el procedimiento para la determinación del sobreancho requerido en una curva referente al vehículo articulado.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 28, en la que se evidencia la elección del vehículo de diseño, al establecer condiciones para la elección de cada diferente vehículo, que tiene fórmulas para sobreancho de acuerdo al tipo de vehículo y usa 2 segundos como tiempo de percepción reacción, quiere decir que coincide con la norma AASHTO de 1994 respecto a elección del vehículo de diseño, pero además agrega las condiciones para la elección del vehículo, pero no coincide en el tiempo de percepción reacción. Así mismo coincide en un aspecto con otra versión más actualizada como la de 2004 respecto a sobreancho en curvas teniendo fórmula para el cálculo para vehículo articulado, pero añadiendo las fórmulas según sea el tipo de vehículo.

También los resultados según vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de carreteras de Chile (Tabla 29), muestran que para la elección del tipo de vehículo de diseño en Chile se establecen condiciones y los vehículos de diseño pueden ser liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial. Tales condiciones de uso se establecen en 2.2.5.1. Así mismo, la norma tiene las fórmulas para el cálculo del sobreancho en curvas según sea el tipo de vehículo como camión unidad simple, bus corriente, bus de turismo según sus 2 diferentes medidas y semitrailer según sus 3 diferentes medidas, según 2.2.5.2. Además, respecto al tiempo de percepción reacción la norma establece 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos, por lo que se puede decir que la norma de Chile tiene las condiciones para la elección del tipo de vehículo y para el cálculo específico de sobreancho en curvas según tipo de vehículo, también se puede decir que el tiempo de percepción reacción guarda coherencia con las tablas de distancia de visibilidad de parada debido a que el tiempo usado es el mismo de 2 segundos.

Procurando explicar los resultados del vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada del Manual de diseño geométrico de Bolivia, citamos a AASHTO que en el año 1994 establece que es necesario examinar todos los tipos de vehículos, seleccionar agrupamientos de clase general y establecer vehículos de tamaño representativos de cada clase, para uso en el diseño. Así mismo sostiene que un tiempo de reacción de 2.5 segundos se usa para calcular la mínima distancia de visibilidad de detención. Además, según el Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías en el año 2008 sostiene que el Manual AASHTO versión 2004 presenta el procedimiento para la determinación del sobreancho requerido en una curva referente al vehículo articulado.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 29, en la que se evidencia la elección del vehículo de diseño, al establecer condiciones para la elección de cada diferente vehículo, que tiene fórmulas para sobreancho de acuerdo al tipo de vehículo y usa 2 segundos como tiempo de percepción reacción, quiere decir que coincide con la norma AASHTO de 1994 respecto a elección del vehículo de diseño, pero además agrega las condiciones para la elección del

vehículo, pero no coincide en el tiempo de percepción reacción. Así mismo coincide en un aspecto con otra versión más actualizada como la de 2004 respecto a sobreaancho en curvas teniendo fórmula para el cálculo para vehículo articulado, pero añadiendo las fórmulas según sea el tipo de vehículo.

Además, los resultados de este trabajo según comparación de vehículo de diseño (Tabla 30), muestran que los países de Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile dejan libertad de elección del vehículo de diseño con la condición que sea un vehículo representativo de la composición del tránsito, mientras que la DG 2018 establece que el vehículo de diseño sea el vehículo rígido. Así mismo Ecuador y Colombia tienen el mismo parámetro, mientras que Bolivia y Chile además de considerar un vehículo representativo, establecen las condiciones para la elección del vehículo de diseño el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial, lo único que los diferencia es el uso de la palabra pista al referirse al carril en la norma de Chile.

Tratando de explicar los resultados del vehículo de diseño de las normas de Ecuador, Colombia, Bolivia, Chile y Perú citamos a Galvez y Vasquez quienes investigan sobre las normas de diseño geométrico vial de Sudamérica aplicado a las vías de Evitamiento en el Perú en año 2019 en el cual concluye que, la norma peruana es similar y conservadora en referencia a las normas de Ecuador, Colombia y Chile. Además, que el manual de Chile es tomado como referencia para la elaboración de parámetros de diseño en Ecuador y que la norma de Colombia coincide con la norma peruana.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 30, en la que se evidencia que los otros países de Sudamérica dejan libertad de elección del vehículo de diseño con la condición que sea un vehículo representativo de la composición del tránsito, mientras que la DG 2018 establece que el vehículo de diseño sea el vehículo rígido y así mismo Ecuador y Colombia tienen el mismo parámetro, mientras que Bolivia y Chile tienen el mismo parámetro. Es decir que respecto al vehículo de diseño las normas de los otros países de Sudamérica son similares, pero la norma peruana no es similar. Además, la norma de Chile no evidencia que haya sido tomada como referencia para la norma de Ecuador ya que la norma chilena indica los parámetros de elección del vehículo de diseño mientras

que la norma de Ecuador no indica parámetros de elección. Pero si son iguales la norma de Chile con la de Bolivia respecto a vehículo de diseño.

También los resultados de este trabajo según comparación de sobreancho en curvas (Tabla 31), muestran que los países de Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, tiene la fórmula para el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, mientras que la DG 2018 establece solo la fórmula para el cálculo del sobreancho en base al vehículo rígido. Así mismo Ecuador y Colombia tienen parámetro similar, mientras que Bolivia y Chile además de considerar el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, establecen las fórmulas según sea el tipo de vehículo (camión, bus corriente, bus de turismo de $L_t = 13.2$, bus de turismo de $L_t = 14.0$, semitrailer de $L_t = 16.4$, semitrailer de $L_t = 18.6$ y semitrailer de $L_t = 22.4$).

Queriendo explicar los resultados del sobreancho en curvas de las normas de Ecuador, Colombia, Bolivia, Chile y Perú citamos a Montoya y Cárdenas quienes realizan una propuesta de modificación del sobreancho mínimo requerido para el vehículo c3s2 en el diseño de vías de Colombia en 2020 sostienen que se efectuó una herramienta académica por medio del software Microsoft Visual Studio 2019, la cual busco efectuar el cálculo del sobreancho basado en las metodologías planteadas en su investigación, que permitan que el diseñador pueda comparar de manera directa los valores obtenidos de sobreancho y así poder efectuar un diseño geométrico más óptimo y de mayor eficacia, salvaguardando la seguridad de los usuarios

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 31, en la que se evidencia que los otros países de Sudamérica tienen la fórmula para el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, mientras que la DG 2018 establece solo la fórmula para el cálculo del sobreancho en base al vehículo rígido. Así mismo Ecuador y Colombia tienen parámetro similar, mientras que Bolivia y Chile además de considerar el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, establecen las fórmulas según sea el tipo de vehículo, quiere decir que la norma de Bolivia y Chile evidencia un diseño geométrico más óptimo en comparación a las normas de Ecuador, Colombia y Perú respecto al cálculo de sobreancho en curvas, lo cual conlleva a salvaguardar la seguridad de los usuarios. Así mismo la norma peruana

es la más limitada de las normas al solo tener fórmula de sobreancho en curvas solo para vehículo rígido.

Además, los resultados de este trabajo según comparación de tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada (Tabla 32), muestran los parámetros en lo cual podemos evidenciar que Bolivia y Chile establecen 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos. Además, Ecuador y Colombia establecen 2.5 segundos para dicho tiempo y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos. Asimismo, la DG 2018 establece 2.5 segundos, pero hay una figura que usa un tiempo menor a 2.5 segundos para la distancia de visibilidad de parada.

Tratando de explicar los resultados del vehículo de diseño de las normas de Ecuador, Colombia, Bolivia, Chile y Perú citamos a Galvez y Vasquez que en 2019 sostienen que, la norma peruana es similar y conservadora en referencia a las normas de Ecuador, Colombia y Chile. Además, que el manual de Chile es tomado como referencia para la elaboración de parámetros de diseño en Ecuador y que la norma de Colombia coincide con la norma peruana.

En tal sentido respecto a nuestros resultados de la tabla 32, en la que se evidencia que Bolivia y Chile usan 2 segundos y Ecuador, Colombia y Perú usan 2.5 segundos para el tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada, pero que Bolivia, Chile, Ecuador y Colombia el tiempo de percepción reacción que usan también lo usan en sus tablas y figuras respecto a distancia de visibilidad de parada, mientras que en la norma peruana hay una figura que usa tiempo de percepción reacción menor de 2.5 segundos, quiere decir que respecto al tiempo de percepción reacción las normas Bolivia y Chile son similares y las de Ecuador y Colombia son similares, mientras que la norma peruana es diferente al ser ambigua respecto al tiempo de percepción reacción de 2.5 segundos que establece, pero tener una figura que usa un tiempo de percepción reacción de menos de 2.5 segundos. Además, la norma de Chile no evidencia que haya sido tomada como referencia para la norma de Ecuador ya que la norma chilena usa un tiempo de percepción reacción de 2 segundos mientras que la norma de Ecuador usa 2,5 segundos.

Así mismo los resultados de este trabajo según Propuesta de actualización de diseño geométrico respecto a vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada (Tabla 33), muestra los estándares de la elección del vehículo de diseño, en la cual se propone establecer condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.3.1. del manual de Bolivia y tales estándares son las mismas que tiene la norma de Chile con la única diferencia que la norma de Chile usa la palabra pista al referirse al carril. Así mismo, referente al sobreebanco en curvas en la cual se propone como referencia de estandarización al sobreebanco en curvas según tipo de vehículo contenido en 2.2.3.2. del manual de Bolivia el cual establece las fórmulas para determinar el sobreebanco en curvas de acuerdo al tipo de vehículo de diseño, al igual que la norma de Chile con la única diferencia que la norma de Chile usa la palabra pista al referirse al carril. Además, respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, en la cual se propone mantener el tiempo de 2.5 segundos y que solo se mantengan los cuadros que usen tiempo de 2.5 respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, así como lo hacen las normas de Ecuador y Colombia, es decir la gráfica que se muestra de la Figura 3, de debe ser retirada del manual DG 2018 para evitar la ambigüedad.

Procurando explicar los resultados de la Propuesta de actualización de diseño geométrico respecto a vehículo de diseño, sobreebanco en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, citamos al Ministerio de Transportes y comunicaciones que en el año de 2018 en el Manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018 sostiene que la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación y es necesario que sea revisada y actualizada periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del MTC. Es decir que la DG 2018 debe ser revisada y actualizada periódicamente.

Así mismo Quispe y Poma quienes proponen una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables para modificar la norma del MTC a través del análisis de estándares de otros países en el año 2019, sostienen que en cuanto a las variables de Sección Transversal (carril y berma), Alineamiento Horizontal (Radio mínimo) y Alineamiento Vertical (pendiente) es posible proponer una norma de estandarización de diseño geométrico para trochas carrozables con

un IMD menor a 200 veh/día. Es decir que través del análisis de estándares de otros países es posible proponer una norma de estandarización para una parte del diseño geométrico.

En tal sentido respecto a nuestra propuesta de actualización de diseño geométrico en el que se establecen las condiciones para elección del vehículo de diseño en 2.2.3.1., el sobreechancho en curvas de acuerdo al tipo de vehículo de diseño contenido en 2.2.3.2. y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada de 2.5 segundos y que solo se mantengan los cuadros que usen tiempo de 2.5, por lo cual la gráfica que se muestra en la Figura 3 se debe ser retirada del manual DG 2018. Es decir que la estandarización de las normas de otros países de Sudamérica permite establecer los estándares respecto al vehículo de diseño, sobreechancho en curvas y tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, lo cual permite la propuesta de actualización del Manual de Carreteras – Diseño Geométrico DG 2018

CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió identificar que los parámetros de elección del vehículo de diseño de Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile dejan libertad de elección del vehículo de diseño con la condición que sea un vehículo representativo de la composición del tránsito, de los cuales Ecuador y Colombia tienen el mismo parámetro, Bolivia y Chile además de considerar un vehículo representativo, establecen las condiciones para la elección del vehículo de diseño el cual puede ser vehículo liviano, camión y Buses, vehículo articulado corriente y Vehículo articulado especial, lo único que los diferencia es el uso de la palabra pista al referirse al carril en la norma de Chile, mientras que la DG 2018 establece que el vehículo de diseño sea el vehículo rígido.

Así mismo respecto al sobreancho en curvas en Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, se identificó que tienen la fórmula para el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, de los cuales Ecuador y Colombia tienen parámetro similar, mientras que Bolivia y Chile además de considerar el cálculo del sobreancho en curvas tanto para vehículo rígido como para vehículo articulado, establecen las fórmulas según sea el tipo de vehículo, mientras que la DG 2018 establece solo la fórmula para el cálculo del sobreancho en base al vehículo rígido.

Además, respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada Bolivia y Chile establecen 2 segundos y las tablas y figura para la distancia de visibilidad de parada usan 2 segundos y Ecuador y Colombia establecen 2.5 segundos para dicho tiempo y las tablas para la distancia de visibilidad de parada usan 2.5 segundos mientras que la DG 2018 establece 2.5 segundos para dicho tiempo, pero hay una gráfica que usa un tiempo menor a 2.5 segundos para la distancia de visibilidad de parada.

En este sentido la propuesta de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica adecuada para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018 establece condiciones para la elección del vehículo de diseño contenido en 2.2.3.1. del manual de Bolivia y tales estándares son los mismos que tiene la norma de Chile, referente al sobreancho en curvas se propone como referencia de estandarización al sobreancho en curvas

según tipo de vehículo contenido en 2.2.3.2. del manual de Bolivia el cual establece las fórmulas para determinar el sobreancho en curvas de acuerdo al tipo de vehículo de diseño, al igual que la norma de Chile y respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada se propone mantener el tiempo de 2.5 segundos y que solo se mantengan los cuadros que usen tiempo de 2.5 respecto al tiempo de percepción reacción referente a la distancia de visibilidad de parada, así como lo hacen las normas de Ecuador y Colombia, nos referimos a que la gráfica que se muestra de la Figura 3, debe ser retirada del manual DG 2018 para evitar la ambigüedad.

Así mismo la propuesta de estandarización de diseño geométrico de otros países de Sudamérica referente a vehículo de diseño, sobreancho en curvas y tiempo de percepción reacción respecto a la distancia de visibilidad de parada es adecuada para la actualización del Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018, lo cual permite validar la hipótesis planteada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir investigando distintos aspectos del manual de carreteras – Diseño Geométrico DG 2018 y realizar propuestas de actualización.

Así mismo se sugiere realizar investigaciones respecto a la forma de la carretera, diseño geométrico de la carretera, construcción de la carretera, mantenimiento de la carretera, señalización adecuada de la carretera y su relación con los accidentes de tránsito.

Además, se recomienda realizar investigaciones de diseños geométricos de distintos países de Europa y Asia y relacionándolos con las normas de diseño geométrico de América Latina y Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. (F. Sierra, Trad.) Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/45949842/Diseno-Geometrico-de-Carreteras-y-Calles-AASTHO-1994>
- Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). *Manual de diseño geométrico: Volumen I* [versión PDF]. Bolivia. Obtenido de https://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual_de_diseno_geometrico.pdf
- América Noticias (14 de junio de 2013). Fiscalía evaluó denunciar a chofer que causó accidente La Oroya [Video]. Youtube. Obtenido de <https://youtu.be/uzqPeXoyyL4>
- El comercio (2018). Pasamayo: sube a 52 cifra de muertos en la Curva de Diablo. *El comercio* Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/accidentes/tragedia-pasamayo-cifra-muertos-subio-52-caida-bus-curva-diablo-noticia-486025-noticia/>
- Falen, J. (2016). Accidentes de carreteras: la cifra más alta en la última década. *El comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/accidentes-carreteras-cifra-alta-ultima-decada-152687-noticia/?ref=ecr>
- Galvez, A. & Vasquez, M. (2019). *Normas de diseño geométrico vial en Sudamérica aplicado a Vías de Evitamiento en el Perú* [Tesis de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2628>
- Ministerio de Obras Públicas Chile. (2018). *Manual de Carreteras: Volumen N° 3* [versión PDF]. Chile. Obtenido de

http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/manualdecarreteras/Documents/Actualizacion_Indice-2012/Indice%20MC-V3_2012.pdf

Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Colombia. Obtenido de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~carboled/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018* [versión PDF]. Perú. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020). Boletín estadístico de siniestralidad vial – I Semestre 2020 [versión PDF]. Perú. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1294834/2020%20bolet%C3%ADn%20estadistico%20de%20siniestralidad%20vial%20-%20I%20Semestre%202020%20edit%20OCII%20copia.pdf>

Montoya, G. & Cardenas, Y. (2020). *Propuesta de modificación del sobreancho mínimo requerido para el vehículo C3S2 en el diseño de vías en Colombia* [Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomas]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22800>

Organización Mundial de la Salud (2018). *Un nuevo informe de la OMS destaca que los progresos han sido insuficientes en abordar la falta de seguridad en las vías de tránsito del mundo.* Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/7-12-2018-nuevo-informe-oms-destaca-que-progresos-han-sido-insuficientes-abordar-falta>

Pirota, M. (2008). Inseguridad vial: ¿Quién es el responsable?. *Diario Norte, Resistencia-Chaco, Suplemento Chaqueña*, 3. Obtenido de [http://www.estudiopirota.com.ar/archivos/martinpirota/civil/Inseguridad-Vial\(QuienEsElResponsable\).pdf](http://www.estudiopirota.com.ar/archivos/martinpirota/civil/Inseguridad-Vial(QuienEsElResponsable).pdf)

Quispe, N. & Poma, D. (2019). *Norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables para modificar la norma del mtc a través del análisis de estándares de otros países* [Tesis de Ingeniería, Universidad Ricardo

Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de
<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2612>

T.A.M.S. – ASTEC. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras – 2003*
[versión PDF]. Ecuador. Obtenido de
https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf

TVial Oficial (24 de abril de 2018). Conferencia n° 06 - Ricardo Zevallos Normas –
Normas Técnicas de Construcción y Diseño de Carreteras [video]. Youtube.
Obtenido de <https://youtu.be/SFr9H2s7WPk>

Universidad de las Américas Puebla (2015). *90 por ciento de los pavimentos a nivel mundial están hechos de asfalto*. Obtenido de [Notas de prensa del blog]:
Obtenido de blog.udlap.mx/blog/2015/10/reuniondeconsejoestudiantilamaac/