

CAP. I

1.1 INTRODUCCION

La variación de la velocidad de diseño o de operación a lo largo de la geometría de las carreteras. Es uno de los datos de entrada más relevantes para los análisis de seguridad y, en particular, para el análisis de consistencia del diseño geométrico. Para construir la velocidad se requiere contar con modelos que permitan correlacionar la velocidad de operación con la geometría de la carretera. La literatura es profusa en modelos que describen la velocidad de operación con curvas horizontales inversas

Desde 1954 hasta el año 2010, existen alrededor de 110 modelos en diversas publicaciones científicas. En su mayoría, estos modelos correlacionan la velocidad de operación medida en la mitad de la curva con el radio curvatura, peralte o desarrollo de las curvas. Otros modelos incorporan la velocidad de aproximación como variable explicativa y otros utilizan elementos geométricos tales como deflexiones, ancho de pista, peralte y pendiente longitudinal (Echaveguren, 2010).

La mayoría de estos modelos se basan en el supuesto que la velocidad en el interior de una curva horizontal es constante y que depende esencialmente del radio de curvatura, por lo cual es suficiente correlacionar la geometría de la curva con la velocidad de operación medida en la mitad de la curva.

Estos supuestos se han adoptado desde la experiencia en el uso del modelo de masa puntual para el diseño geométrico de curvas horizontales aisladas. Sin embargo, existe evidencia empírica que muestra que los conductores ajustan su velocidad al comienzo de la tangente de entrada y que en el interior de la curva la adaptan en función de la curvatura pero en mayor medida en función de la velocidad de ingreso a la curva.

Bavkov (1968) describe en términos teóricos este proceso, proponiendo un perfil de velocidad que permitía estudiar el cambio de velocidad al ingresar a la curva como una medida de seguridad. Echaveguren y Basualto (2003) y Figueroa y Tarko (2007)

comprueban empíricamente que dentro de la curva el conductor decelera o acelera ajustándose a la trayectoria según sus necesidades.

Este trabajo propone una evaluación del comportamiento de la velocidad basados en mediciones de velocidades obtenidas mediante aforos y dimensionar los elementos geométricos, curvas y entre tangencias en planta y perfil, en forma tal que puedan ser recorridos con plena seguridad a la velocidad máxima más probable con que sería abordado cada uno de dichos elementos geométricos.

Con el proyecto de estudio se tendrá un aporte académico con respecto a que formara parte de los trabajos de investigación mediante la aportación de datos recopilados en los tramos en estudio, y una bibliografía para que posteriormente sean utilizados en instituciones públicas dedicadas al diseño de carreteras

Se realizará las mediciones en campo y con la bibliografía recopilada se calculara los factores de diseño de la velocidad de curvas horizontales sucesivas

Sera una solución a las causas de accidentes ocasionadas por el sobrepaso en dichas curvas

1.2 JUSTIFICACIÓN

El comportamiento de los vehículos respecto a la velocidad en alineamientos curvos es diferente y tiene mayor riesgo, por lo que es importante determinar cuál es ese comportamiento y a partir de ello, considerar aspectos que tiendan a dar mayor seguridad al momento de realizar el diseño

Será importante aplicar a tramos de nuestro medio porque nos mostrará la tendencia del comportamiento de vehículos respecto a la velocidad en tramos de curvas horizontales sucesivas

El aporte de este trabajo desde el punto de vista académico es que son aspectos que normalmente no se estudian, pero que en la actualidad se representan por lo que el documento servirá como consulta

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 Situación Problemática

Los conductores con vehículos seleccionan una velocidad de circulación superior a la de diseño, para acortar dicha curva como va a alta velocidad haciendo un sobre paso de carril dándole al conductor comodidad pero no seguridad, la geometría de curvas sucesivas no permiten esas velocidades con seguridad incrementando el índice de accidentes

En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

En los tramos en estudio se tomará una muestra de tres curvas sucesivas para así ver el comportamiento de la velocidad que los conductores imprimen en dichos tramos y sacar los factores de seguridad de diseño y llevarles a la fórmula de velocidad en curvas

1.3.2 Problema

La problemática central de la investigación es la siguiente ¿Cuál será el comportamiento de la velocidad de los vehículos en curvas horizontales sucesivas, tomando en cuenta las características de las vías y el comportamiento del conductor?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- ❖ Realizar una evaluación del comportamiento de la velocidad de los vehículos en curvas horizontales sucesivas cuya aplicación será realizada a los tramos “**Padcaya – La Mamora y Cruce San Lorenzo – Falda la Queñua**” para su posterior aplicación a nuestro medio, no sólo desde el punto de vista de la influencia de la geometría de la carretera, si no también considerando el tipo

de vehículo y el comportamiento del conductor ante las señalizaciones existentes en dichos tramos

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Evaluar el comportamiento de las velocidades en curvas horizontales sucesivas mediante la revisión bibliográfica y los parámetros de diseño de cada componente
- ❖ Evaluar la velocidad de las curvas horizontales sucesivas con la norma boliviana de carreteras ABC
- ❖ Analizar las curvas horizontales sucesivas aplicado a los tramos Padcaya- la Mamora y cruce San Lorenzo – falda la Queñua para sacar un modelo de la velocidad de diseño
- ❖ Determinar los parámetros de diseño que ejercen una mayor influencia en la curvas horizontales sucesivas
- ❖ Realizar mediciones de velocidad en los tramos Padcaya – La Mamora y Cruce San Lorenzo – Falda la Queñua
- ❖ Obtener información mediante elementos medidos en dichos tramos
- ❖ Aportar información para los posteriores diseños de curvas horizontales sucesivas aplicados a nuestro medio

1.5 Hipótesis

Este estudio de tráfico nos permite, obtener resultados del comportamiento de la velocidad obteniendo variaciones de velocidad en las curvas horizontales sucesivas que son provocados por los radio de curvatura, peralte y la mala educación vial del conductor

1.6 Variables

Independiente.- las variables son tiempo y la distancia que recorre un vehículo en dicho punto de aforo

Dependiente.- las velocidades dependen del comportamiento de los vehículos con respecto a los radios de curvatura, peralte, distancia de visibilidad, señalización y educación vial del conductor en las curvas horizontales sucesivas

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.6.1. Componentes

Unidades de estudio: El presente trabajo se realizó mediante el aforo de tráfico vehicular por el método manual, por la norma AASTHO para la evaluación de comportamiento de la velocidad

Población: las curvas horizontales sucesivas en el tramo Padcaya –La Mamora son 18 con radios de curvatura, peraltes diferentes con una velocidad de proyecto igual en todo el tramo de 40km/h

Tramo Cruce San Lorenzo - Falda la Queñua teniendo 23 curvas horizontales sucesivas entre simples y compuestas

Muestra: Las muestras más representativas que se seleccionó mediante los radios de curvatura menores de Padcaya – La Mamora son 7 siendo 2 compuestas y 5 en S o inversas simples y en San Lorenzo – Falda La Queñua siendo 9curvas ,5 curvas compuestas y 4 curvas en S

Muestreo.- con las alternativas seleccionadas se realizara el aforo en los puntos definidos donde se medirá el tiempo que tarda en recorrer los vehículos a una determinada distancia

1.6.2. Métodos y técnicas

Métodos: Para el desarrollo del estudio se utilizará el método inductivo y método analítico

Técnicas: En el presente trabajo se utilizara la técnica de investigación bibliográfica, técnica de recopilación de información

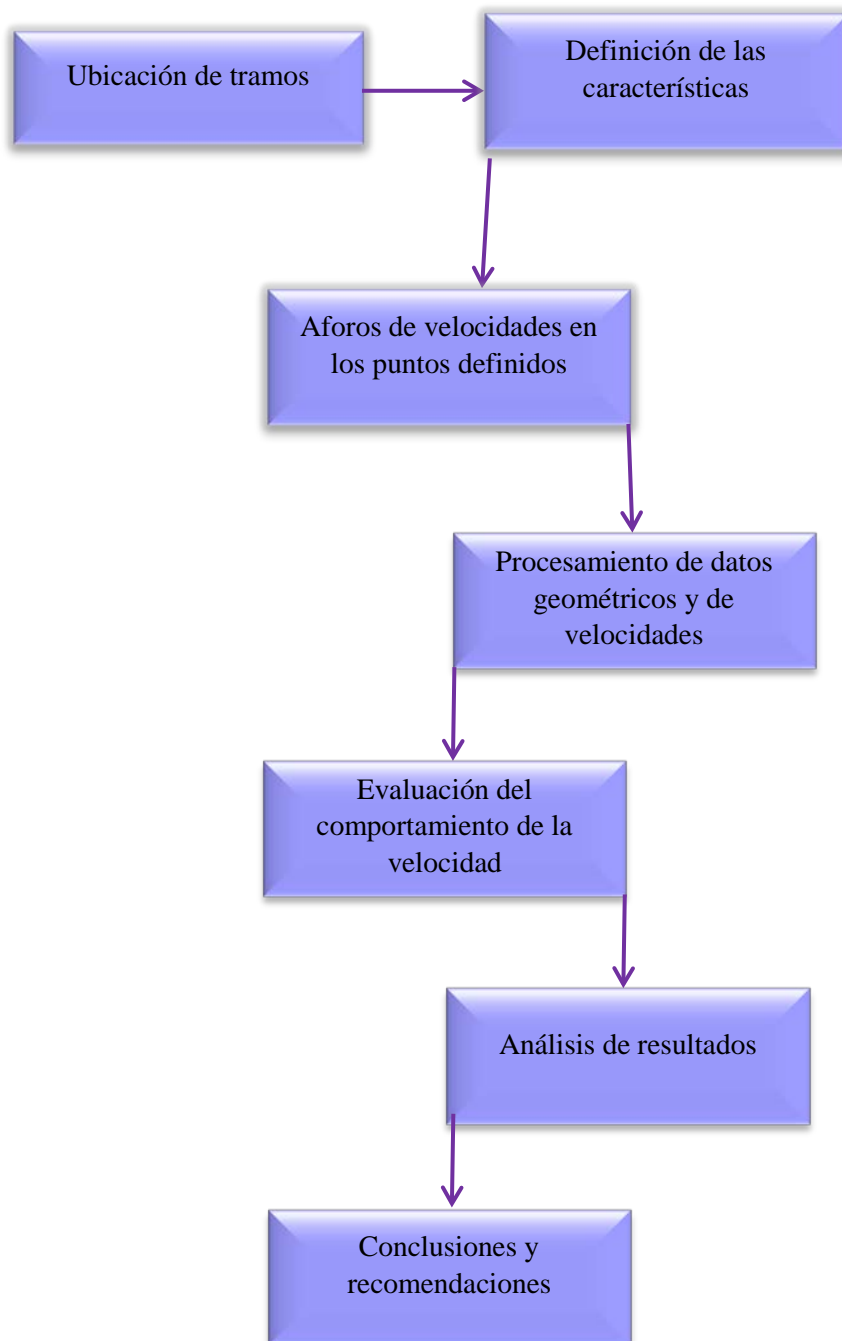
Descripción de los instrumentos

Los medios que se emplearan para el presente trabajo son:

- ❖ Cronómetro
- ❖ Cinta

- ❖ Estación Total
- ❖ Computadora

Procedimiento de aplicación: El proceso de este estudio será el siguiente



1.8 Alcance del estudio de aplicación

El estudio de este proyecto comprende los tramos Padcaya – La Mamora y Cruce San Lorenzo – Falda la Queñua

Se hará un reconocimiento de los lugares en estudio para la selección de las muestras más representativas de las curvas horizontales sucesivas tipo de topografía donde se eligió, mediante la señalización, horizontal que existen en la carretera.

Capítulo I. Introducción.- se realizara una Introducción del estudio, antecedentes, justificación, objetivos, situación problemica, problema y alcance y diseño metodológico las componentes el diseño metodológico para el presente estudio serán unidades de estudio, muestra y muestreo con estas componentes se sacara la muestra más representativa de las curvas en los tramos para así aplicar métodos y técnicas los métodos a aplicar serán inductivo y analítico, las técnicas serán recopilación de información

Capítulo II. Aspectos generales del diseño geométrico en carreteras.- este capítulo es netamente teórico, consta de un diseño geométrico en planta aspectos de diseño de las curvas horizontales sucesivas, en la planimetría se sacara criterios para establecer en trazo en planta mediante dos normas AASTHO y ABC, y los parámetros de diseño de las curvas horizontales, tipos de curvas horizontales y los elementos de las curvas y sus ecuaciones

En la altimetría es teoría de las curvas verticales y las pendientes para identificar el tipo de terreno que existe en los tramos en estudio. Todos estos conceptos y cuadros serán utilizados en la aplicación práctica

Capítulo III. Velocidades de circulación en carreteras.- es teórico consta de conceptos tipos de velocidades y sus respectivas ecuaciones para su cálculo, la velocidad especifica de la curvas horizontales se presentara los cinco casos, con fotografías de los tramos

Aforo de velocidad se estudiara cuál de los presentados en dicho trabajo se aplicará viendo costo si existe en nuestro medio será el más factible para su aplicación. Toda la teoría y cuadros serán aplicados en el siguiente capítulo

Capítulo IV. Aplicación práctica.- en este capítulo es la aplicación práctica y teórico

Ubicación de tramos en estudio.- se realizó una visita al lugar para ubicar las curvas horizontales sucesivas más representativas de los dos tramos en estudio en el tramo Padcaya – La Mamora se ubicó 7 curvas horizontales sucesivas siendo 5 curvas en S y dos curvas compuestas sucesivas y una recta para hacer una comparación de estudio de los dos tramos.

El tramo Cruce San Lorenzo – Falda La Queñua se hizo un estudio de 9 curvas teniendo 4 curvas horizontales en S y 5 curvas compuestas y una recta

Estudio de velocidades.- se realizara mediante aforo método manual con la Norma AASTHO, se medirá 20m de distancia en la mitad de la curva que está entre los puntos de externa curva EC y la salida de la externa CE cada punto aforado las planillas de aforo serán materializadas en dirección de los carriles, la ubicación de las rectas será de 100m de distancia a los 50m el punto de aforo por la norma se realizara 1 mes de aforo 3 días a la semana y 3 horas al día donde cada punto de la curva se aforara 15min

Mediante los aforos se sacara la velocidad de operación para realizar un análisis del comportamiento de la velocidad de vehículos livianos y pesados en curvas horizontales sucesivas y dar una valoración a dicho estudio

Conclusiones y Recomendaciones, se tendrá la conclusión y recomendación que se puedan alcanzar en el proceso de estudio, los problemas y restricciones que se obtengan serán colocados para tener mayor cuidado en lo posterior y/o los beneficios que traerá el estudio

2.1 DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA

2.1.1 GENERALIDADES

El diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado de curvatura variable, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente.

El alineamiento horizontal deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad de diseño en la mayor longitud de carretera que sea posible.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad de diseño y a su vez, controla la distancia de visibilidad.

En proyectos de carreteras de calzadas separadas, se considerará la posibilidad de trazar las calzadas a distinto nivel o con ejes diferentes, adecuándose a las características del terreno.

La definición del trazado en planta se referirá a un eje, que define un punto en cada sección transversal. En general, salvo en casos suficientemente justificados, se adoptará para la definición del eje:

En autopistas

- El centro del separador central, si este fuera de ancho constante o con variación de ancho aproximadamente simétrico.
- El borde interior de la vía a proyectar en el caso de duplicaciones.
- El borde interior de cada vía en cualquier otro caso.

En carreteras de vía única

- El centro de la superficie de rodadura

2.1.2 ASPECTOS DE DISEÑO

Algunos aspectos a considerar en el diseño en planta:

- Deben evitarse tramos con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto. Es preferible reemplazar grandes alineamientos, por curvas de grandes radios.
- Para las autopistas de primer y segundo nivel, el trazado deberá ser más bien una combinación de curvas de radios amplios y tangentes no extensas.
- En el caso de ángulos de deflexión pequeños, iguales o inferiores a 5° , los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínima L obtenida con la fórmula siguiente:

$$L > 30 (10 -) < 5^\circ \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde:

L = longitud de curva mínima (m)

= Angulo de deflexión (grados)

V = velocidad de diseño (km/h)

No se usara nunca ángulos de deflexión menores a $59'$ (minutos)

Cuadro 1: La longitud mínima de curva

Carretera de red nacional	L (m)
Autopistas de primer y segundo nivel	$6 V$
Primera , segunda y tercera clase	$3 V$

Fuente: Manual AASTHO

- En carreteras de tercera clase no será necesario disponer curva horizontal cuando la deflexión máxima no supere los valores del siguiente cuadro

Cuadro 2: deflexión máxima aceptable sin curva circular

Velocidad de diseño km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30'
40	2° 15'
50	1° 50'
60	1° 30'
70	1° 20'
80	1° 10'

Fuente: Manual AASTHO

En estas carreteras de tercera clase y para evitar la apariencia de alineamiento quebrado o irregular, es deseable que, para ángulos de deflexión mayores a los indicados en el cuadro anterior, la longitud de la curva sea por lo menos de 150 m. Si la velocidad de diseño es menor a 50 km/h y el ángulo de deflexión es mayor que 5°, se considera como longitud de curva mínima deseada la longitud obtenida con la siguiente fórmula $L = 3V$. Es preferible no diseñar longitudes de curvas horizontales mayores a 800 metros.

- Al final de las tangentes extensas o tramos con leves curvaturas, o incluso donde siga inmediatamente un tramo homogéneo con velocidad de diseño inferior, las curvas horizontales que se introduzcan deberán concordar con la precedente, proporcionando una sucesión de curvas con radios gradualmente decrecientes para orientar al conductor. En estos casos, siempre deberá considerarse el establecimiento de señales adecuadas.
- No son deseables dos curvas sucesivas en el mismo sentido cuando entre ellas existe un tramo en tangente. Será preferible sustituir por una curva extensa única o, por lo menos, la tangente intermedia por un arco circular,

constituyéndose entonces en curva compuesta. Sí no es posible adoptar estas medidas, la tangente intermedia deberá ser superior a 500 m. En el caso de carreteras de tercera clase la tangente podrá ser inferior o bien sustituida por una espiral o una transición en espiral dotada de peralte

- Las curvas sucesivas en sentidos opuestos, dotadas de curvas de transición, deberán tener sus extremos coincidentes o separados por cortas extensiones en tangente. En el caso de curvas opuestas sin espiral, la extensión mínima de la tangente intermedia deberá permitir la transición del peralte.
- En consecuencia, deberá buscarse un trazo en planta homogéneo, en el cual tangentes y curvas se sucedan armónicamente

2.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico es el primer aspecto que se considera al diseñar una carretera o camino, corresponderá a definir un eje longitudinal tratando de ajustar curvas mejorando así sus condiciones geométricas, el diseño en planta como perfil de tal manera que ofrezca seguridad, comodidad y estética para el conductor como para los peatones.

2.2.1 Planimetría

En el diseño de un camino, la intersección de dos tramos rectos se resuelve mediante la incorporación de una curva, la cual generalmente es circular.

Al hablar de curvas horizontales el factor fundamental para su definición es el Radio. Para la definición del mismo influyen muchos puntos como el peralte, la fricción, velocidad directriz etc.

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

- Categoría de la ruta
- Topografía del área
- Velocidad de proyecto

- V85% para diseñar las curvas horizontales
- V^* para verificar la distancia de frenado
- Coordinación con el alineamiento vertical
- Costo de construcción y operación

2.2.1.1 Criterios para establecer el trazado en planta

❖ Elemento del trazado en planta

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijaran más adelante y de aquellos tramos que sean indispensables.

Los elementos curvos comprenden:

- Curvas circulares
- La parte central circular y dos arcos de enlace

❖ El problema de la visibilidad

La obtención de la visibilidad de adelantamiento para caminos bidireccionales exige tramos rectos o de curvatura muy suave, que permiten adelantar en el mayor porcentaje de su longitud

Las curvas del orden del mínimo admisible disminuye la confianza del conductor para adelantar, aunque ofrezca visibilidad adecuada.

2.2.1.2 Alineamiento recto

Los grandes alineamientos rectos no se dan en forma natural para incorporar al trazo implica por lo general movimiento de tierras. En muchos casos puede reemplazarse con ventaja un alineamiento recto por curvas de radios comprendidos entre 5000 y 7500 m.

❖ Longitud máxima en rectas

Se procurara evitar longitudes en rectas superiores a:

$$L_r = 20 * V_p \quad \text{Ec. 2.2}$$

Dónde:

L_r = Longitud máxima de recta en carreteras bidireccionales (m)

V_p = velocidad de proyecto (km/h)

❖ Longitud mínima en rectas

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distintos sentidos o curvas en “S” de aquellas correspondientes en el mismo sentido

-Tramos rectos intermedios (Curvas en “S”).-

$$L_{rmin} = 1,4 * V_p \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

L_{rmin} = Longitud de recta mínima en carreteras bidireccionales (m)

V_p = Velocidad de proyecto (km/h)

-Tramo recto en curvas del mismo sentido.-

Cuadro 3: Longitud de rectas en el mismo sentido

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

Fuente: Manual ABC

2.2.1.2 Radios mínimos

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$R_{min} = \frac{V_p^2}{127 * (e_{max} + f)} \quad \text{Ec. 2. 4}$$

Dónde:

R_{min} = Radio mínimo absoluto (m)

V_p = Velocidad proyecto (km/h)

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

f = Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p

Cuadro 4: valores máximos para el peralte y la fricción transversal

	e_{max}	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	$0,265 - V/602,4$
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	$0,193 - V/1134$

Fuente: Manual ABC

Cuadro 5: radio mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
Vp	e_{max}	f	Rmin
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: Manual ABC

2.2.1.3 Radios limite en contraperalte- RL

El contraperalte, o inclinación transversal de la calzada en sentido contrario al que normalmente corresponda en la curva, solo será aceptable para radios > 3500m en caminos y > 7500 en carretas. Su valor máximo podrá igualar al de bombeo, o inclinación transversal de la calzada en alineamientos rectos, pero sin superar 2,5%

Cuadro 6: radio limite en contraperalte en tramos singulares

Vs km/h	Radio Minimo en Contraperalte	
	e = -2.0%	e = -2.5%
60	550	600
70	750	800
80	1100	1200
90	1500	1600
100	1900	2100
110	2600	3000
120	3500	4100

Vs = V señalizada, con Vs mínima = Vp-10 km/h

Fuente: Manual ABC

2.2.1.4 Peralte, coeficiente de fricción.-

El peralte constituye en una elevación de la calzada debido a esto el vehículo sigue una trayectoria de una recta o tangente y pasa a una curva, durante su trayectoria aparece la fuerza centrífuga que origina peligros de estabilidad del vehículo en movimiento.

Ecuación para el cálculo del coeficiente de fricción latera

Peraltes máximos para Caminos: e=7%, Vp=30-80km/h

$$f = 0,265 - \frac{V}{602,4} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Dónde:

f= Coeficiente de fricción

V = Velocidad de proyecto (km/h)

- **Peralte en curvas circulares simples**

Pendiente relativa Proporción del peralte en recta

Cuadro 7: Valores admisibles de la pendiente relativa de borde %

Vp (km/h)	30-50	60-70	80-90	100-120
normal	0,7	0,6	0,5	0,35
max n=1	1,5	1,3	0,9	0,8
max n>1	1,5	1,3	0,9	0,5

Cuadro 8: Proporción del peralte a desarrollar en recta

Mínimo	Normal	Máximo
e < 4,5	e = Todos	e 7
0,5 e	0,7 e	0,8 e

Fuente: Manual ABC

Longitud del desarrollo del peralte

$$l = \frac{n \cdot a \cdot \Delta p}{\Delta} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Tasa de giro

$$tg = \frac{n \cdot a}{\Delta} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde:

l = Longitud de desarrollo del peralte (m)

tg = Tasa de giro (m/1%)

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

a = Ancho normal de un carril (m)

p = Pendiente relativa del borde de la calzada (%)

Peralte en curvas de transición

Desarrollo de peralte

$$l = lo + L \quad \text{Ec. 2.8}$$

Desarrollo en la recta

$$lo = \frac{(n \cdot a \cdot b)}{\Delta} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dónde:

lo = Desarrollo en la recta para pasar $-b\%$ a 0%

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

n = Número de carriles entre el eje de giro y el borde de la calzada a peraltar

a = Ancho normal de un carril (m)

b = Bombeo o pendiente transversal normal en recta

=Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

2.2.1.5 Desarrollo mínimo de curvas horizontales

El desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular por el radio de la misma

Cuadro 9: desarrollo mínimo para curvas circulares de radio mínimo

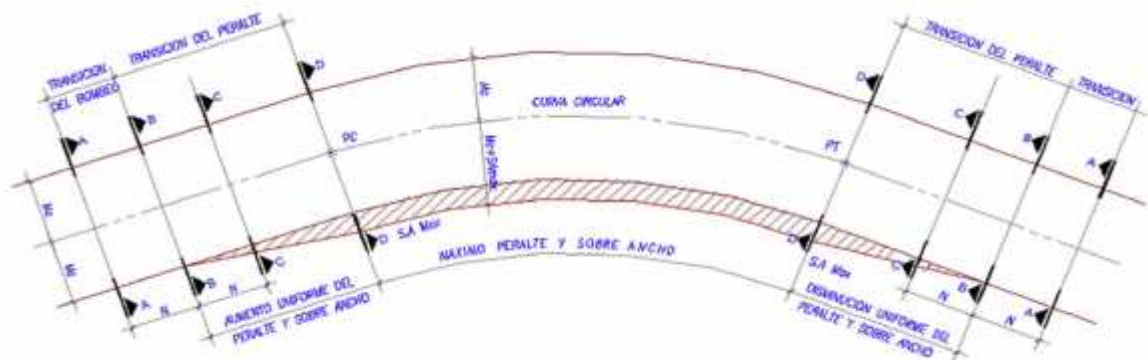
Vp (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\omega c = 9^\circ$	7	12	17	26	35	47	60	76	100
$\omega c = 20^\circ$	16	26	38	57	78	104	134	170	220

Fuente: Manual ABC

2.3 CURVAS HORIZONTALES

Las curvas circulares son los arcos de círculos que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferentes radios.

Fig. 1 curva circular



2.3.1 Tipos de curvas horizontales

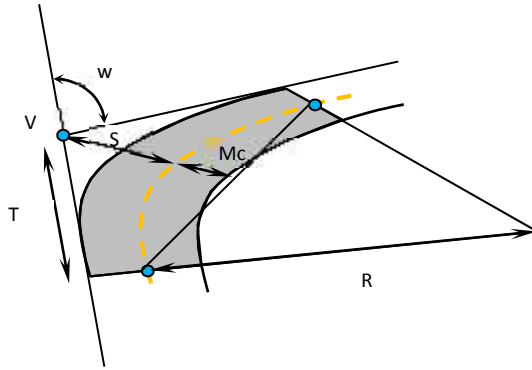
Las curvas horizontales circulares se subdividen a su vez en:

- Curvas circulares simples (CCS)
- Curva circular compuesta (CCC)
- Curvas circulares inversas (CCI)
- Curvas circulares de transición (CCT)

2.3.1.1 Curva circular simple (CCS)

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales

Fig. 2: Elementos de la Curva circular simple



Tangente:

$$T = R \cdot \text{tang} \left(\frac{\omega}{2} \right) \quad \text{Ec. 2.10}$$

Externa:

$$S = R \cdot \left(\sec \left(\frac{\omega}{2} \right) - 1 \right) \quad \text{Ec. 2.11}$$

Flecha:

$$Mc = R \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{\omega}{2} \right) \right) \quad \text{Ec. 2.12}$$

Desarrollo:

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{180} \quad \text{Ec. 2.13}$$

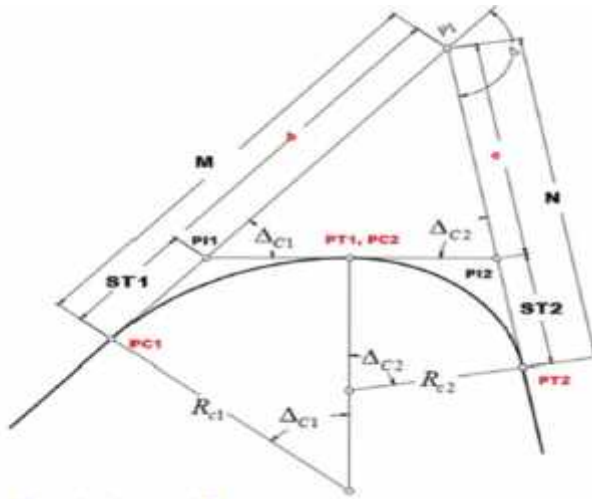
Longitud:

$$L = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \left(\frac{R}{2} \right) \quad \text{Ec. 2.14}$$

2.3.1.2 Curva circular compuesta (CCC)

A veces, debido a las condiciones del terreno u otros aspectos que limiten la libertad en el diseño, puede requerirse un enlace a través de una curva circular compuesta que es la unión sucesiva de dos o más curvas circulares simples con radios de curvatura diferentes, dispuestas todas del mismo lado

Fig. 3: Elementos de la Curva circular compuesta



Elementos comunes o propios de una curva circular compuesta son:

M = Tangente de partida (m)

N = Tangente final (m)

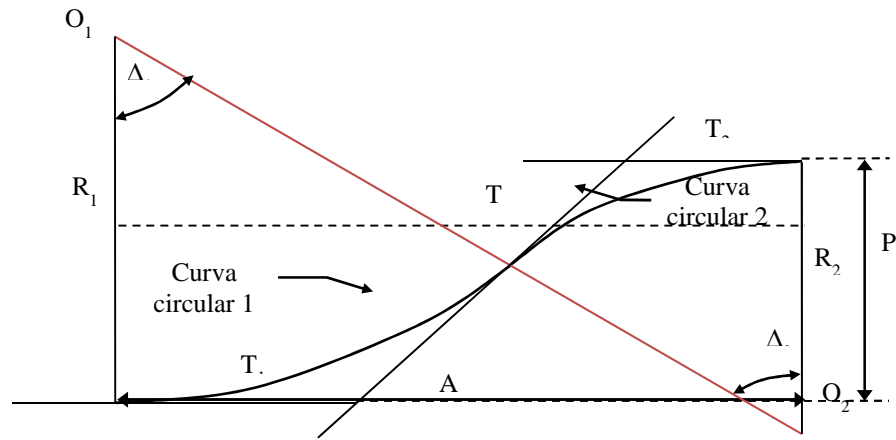
= Angulo de deflexión de la curva circular compuesta ($^{\circ}$)

DT = Desarrollo de la curva circular compuesta (m)

2.3.1.3 Curvas circulares inversas (CCI)

Una curva circular inversa llamada también curva en S es aquella que está formada por dos curvas circulares simples de sentido contrario con una tangente común en el punto de unión. Los radios de curvatura y los ángulos de deflexión de estas curvas circulares simples pueden ser iguales o distintos

Fig. 4: Curva circular inversa



2.3.1.4 Curvas circulares de transición (CCT)

Las curvas de transición, son espirales que tienen por objeto evitar las discontinuidades en la curvatura del trazo, por lo que, en su diseño deberán ofrecer las mismas condiciones de seguridad, comodidad y estética que el resto de los elementos del trazado.

Con tal finalidad y a fin de pasar de la sección transversal con bombeo (correspondiente a los tramos en tangente), a la sección de los tramos en curva provistos de peralte y sobreebanco, es necesario intercalar un elemento de diseño, con una longitud en la que se realice el cambio gradual, a la que se conoce con el nombre de longitud de transición.

2.3.1.4.1 Clotoide

Se adoptara en todos los casos, la clotoide como curva de transición cuyas ventajas son:

- El crecimiento lineal de su curvatura permite una marcha uniforme y cómoda para el usuario, de tal modo que la fuerza centrífuga aumenta o disminuye en la medida que el vehículo ingresa o abandona la curva horizontal, manteniendo inalterada la velocidad y sin abandonar el eje de su carril.

- La aceleración transversal no compensada, propia de una trayectoria en curva, puede controlarse graduando su incremento a una magnitud que no produzca molestia a los ocupantes del vehículo
 - El desarrollo del peralte se logra en forma también progresiva, consiguiendo que la pendiente transversal de la calzada aumente en la medida que aumenta la curvatura.
 - La flexibilidad de la clotoide permite acomodarse al terreno sin romper la continuidad, mejorando la armonía y apariencia de la carretera
- La ecuación de la clotoide (Euler) está dada por:

$$A^2 = R * L \quad \text{Ec. 2.15}$$

Dónde:

A^2 = Parámetro (m)

R_c = Radio de curvatura en un punto cualquiera (m)

L = Longitud de la curva entre su punto de inflexión y el punto de radio R

Para determinar el parámetro mínimo ($A_{\text{mín}}$), que corresponde a una clotoide calculada para distribuir la aceleración transversal no compensada, a una tasa J compatible con la seguridad y comodidad, se emplea la siguiente fórmula.

$$A_{\text{mín}} = \sqrt{\frac{V * R}{46656 * J} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27 * P \right]} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Dónde:

R = Radio de curva (m)

V = Velocidad de diseño (km/h)

P = Peralte correspondiente V y R (%)

$J =$ Variación uniforme de aceleración m/s^2

Cuadro 10: Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo

V (km/h)	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s^3)	0,5	0,4	0,4	0,4
Jmax (m/s^3)	0,7	0,8	0,5	0,4

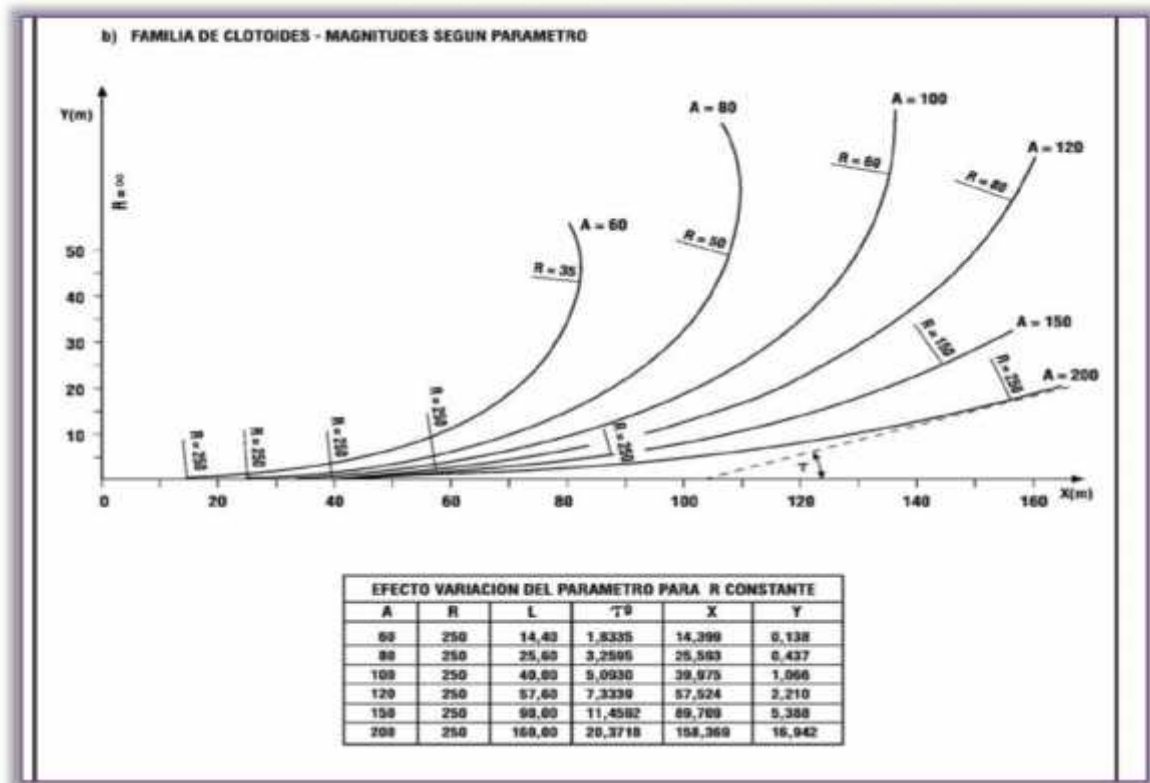
Fuente: Manual AASTHO

Cuadro 11: parámetro mínimo de la clotoide

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

Fuente: Manual ABC

Cuadro 12: características generales de la clotoide

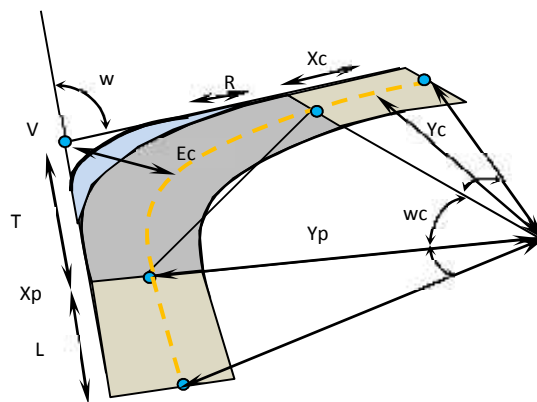


Fuente: Manual ABC

2.3.1.4.2 Elementos de la curva en transición

Las Figuras 5, ilustran los elementos y las características generales de la curva de transición:

Fig. 5: Elementos de la Curva de transición



Coordenadas de la espiral:

$$Xp = L - \frac{L^3}{40 \cdot R^2} \quad Ec. 2.17$$

$$Yp = \frac{L^2}{6 \cdot R} \quad Ec. 2.18$$

$$Xc = Xp - R \cdot \text{sen}(\tau) \quad Ec. 2.19$$

$$Yc = Yp + R \cdot \text{cos}(\tau) \quad Ec. 2.20$$

Externa:

$$Ec = (R + \Delta R) \cdot \left(\sec\left(\frac{\omega}{2}\right) - 1 \right) + \Delta R \quad Ec. 2.21$$

Tangente:

$$Ts = (R + \Delta R) \text{tang}\left(\frac{\omega}{2}\right) + Xc \quad Ec. 2.22$$

Desarrollo:

$$Ds = 2L + \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{180} \quad Ec. 2.23$$

Dónde:

R = Radio de la curva (m)

= Angulo de deflexión (°)

= Angulo de la piral (°)

2.3.1.5 Curvas compuestas

Consisten en dos o más curvas simples de diferente radio, orientadas en la misma dirección, y dispuestas una a continuación de la otra.

En caso excepcional se podrá usar curvas compuestas, aclarando las razones, técnico-económicas u otras, que justifican el empleo de dos curvas continuas de radio diverso.

En el caso de usar una curva compuesta de tres centros denominada policéntrica, deberán respetarse las siguientes condiciones:

- El radio de una de las curvas no será mayor de 1,5 veces el radio de la otra.
- Para armonizar los valores del peralte y sobreancho de cada una de las curvas vecinas, se empleará una transición de peralte
- Para una sucesión de curvas de radio decreciente cada curva debe ser de longitud suficiente para permitir una desaceleración gradual.

a) Curva de inflexión o curva en “S”

Podrá o no existir un tramo en tangente entre las clotoides de parámetros A_1 y A_2 , los cuales deberán cumplir con las normas generales respecto de la velocidad de diseño y radio enlazado, pudiendo ser iguales o del mismo orden de magnitud

A falta de espacio o dificultad para conseguir una tangencia exacta en el punto de radio infinito, se puede aceptar una leve longitud de traslape de las clotoides, o la generación de un tramo en tangente de ajuste. La longitud de traslape o ajuste no deberá superar:

$$\Delta L_{(m)} = 0.05 * \frac{A_1 + A_2}{2} \quad \text{Ec. 2.24}$$

2.3.1.6 Sobreancho

Es el ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía, en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobreancho debe desarrollarse gradualmente a la entrada y salida de las curvas. En el

caso de curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobreancho 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 sobreancho se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral.

Normalmente la longitud para desarrollar el sobreancho 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 sobreancho se ejecutará en la longitud de la curva de transición disponible.

Para la determinación del desarrollo del sobreancho se utilizará la siguiente fórmula:

$$S_{an} = \frac{S_a * l_n}{L} \quad \text{Ec. 2.25}$$

Dónde:

S_{an} = Sobreancho correspondiente a un punto distante (m)

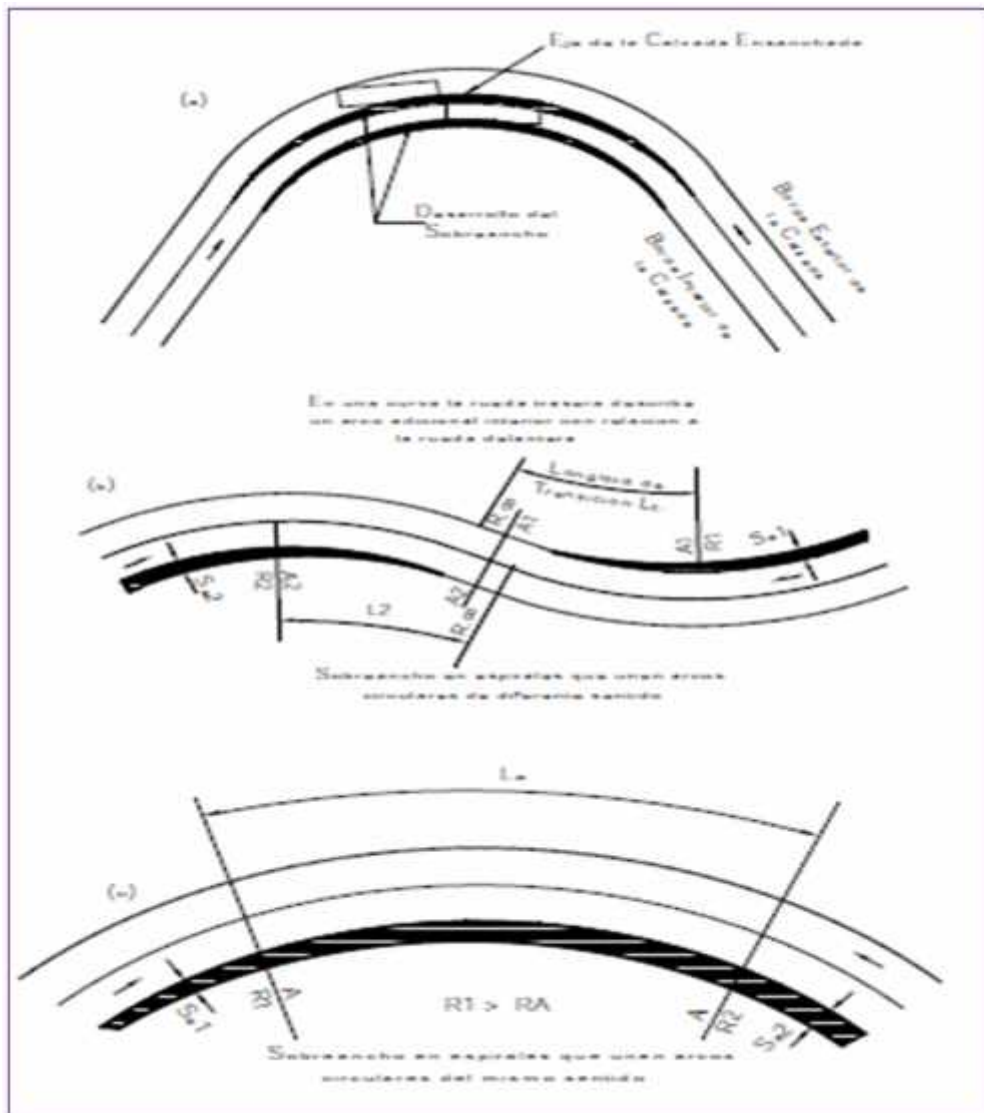
L = Longitud total del desarrollo del sobreancho, dentro de la curva de transición.

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

La ordenada S_{an} 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 $a/2 + S_{an}$ siendo "a" el ancho normal de la calzada en recta.

La demarcación de la calzada se ejecutará midiendo una ordenada $S_{an} / 2$, a partir del eje de la calzada, en el punto de la abscisa

Fig. 6: Distribución del sobreeschicho en los sectores de transición y circular



2.4 ALTIMETRÍA

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta a esta línea se la denomina subrasante, las pendientes que se adopten para subrasante no deben sobrepasar las especificadas en el manual correspondiendo al 9%, es necesario que el cambio se realice gradualmente para esto se usan las llamadas curvas verticales.

2.4.1 Enlace con curvas verticales

Después de haber definido la subrasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferente pendiente.

Ecuación paramétrica de la curva vertical

$$Y = K * X^2 \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$Y = \frac{a}{2 * (2 * T)} * X^2 \quad \text{Ec. 2.27}$$

Dónde:

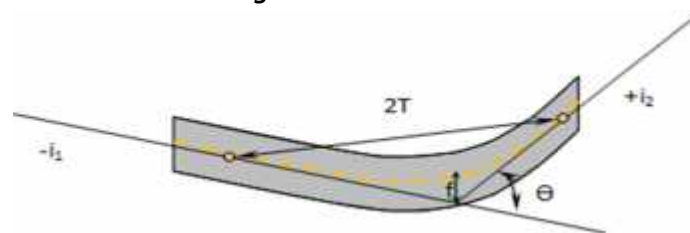
= Diferencia algebraica de las pendientes (m/m)

2T = Longitud de la curva (m)

X = Distancia parcial desde PCV o FCV (m)

Curva Cóncava

Fig .7: Curva Cóncava



$$K_c = \frac{Df^2}{2 * (h + Df * \text{sen } \theta)} \quad \text{Ec.2.28}$$

Dónde:

K_c = Parámetro de la curva vertical cóncava (m)

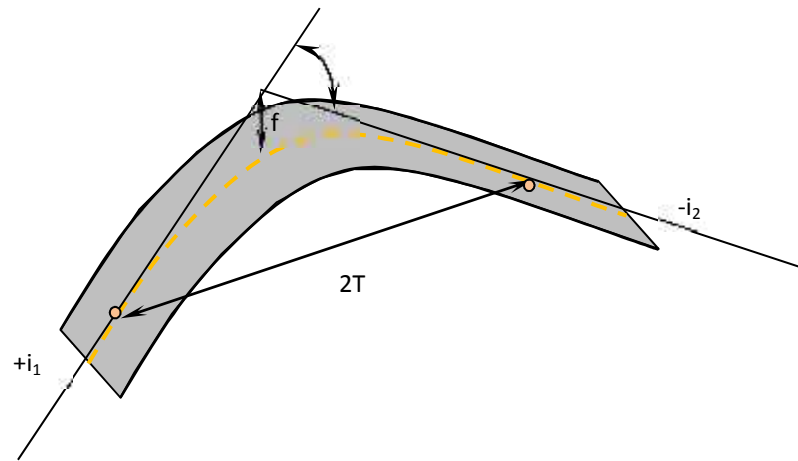
D_f = Distancia de frenado

$h = 0,6$ m Altura de los focos

= 1° Ángulo de abertura del haz luminoso respecto a su eje

Curva Convexa

Fig .8: Curva Convexa



$$K_v = \frac{D_f^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Dónde:

K_v = Parámetro de la curva vertical convexa (m)

D_f = Distancia de frenado (m)

$h_1 = 1,10$ m Altura de ojos del conductor

$h_2 = 0,20$ m Altura del obstáculo

Fig. 9: el conductor debe ver un obstáculo con debida anticipación



2.4.2 Pendiente.-

La pendiente expresada comúnmente en porcentaje (%) representa un problema en un proyecto de diseño geométrico y debe solucionarse con mucho cuidado ya que pendientes muy bajas obligan a altos costos de construcción y pendientes altas influyen en el costo de transporte por que disminuye la velocidad, aumentando así el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos afectando a si a la economía del proyecto.

La ABC distingue varios tipos de terrenos en función a la topografía como ser: *Terreno Llano, Terreno Ondulado, Terreno Montañoso*

Cuadro 13: Pendientes para identificar el tipo de terreno

Terreno	Pendiente	Descripción
LLANO	$\pm 3 \%$	- Libres de obstáculos naturales - Poco uso de elementos de DG mínimo
ONDULADO	3 - 6 %	- Relieve con frecuentes cambios de cota - uso de elementos de DG mínimo
MONTAÑOSO	4 - 9 %	- Constituido por cordones montañosos - Puede obligar a usar curvas de retorno

Fuente: Manual ABC

Cuadro 14: Pendientes máximas de la rasante

Categoría	Velocidad de proyecto (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	(-1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual ABC

3.1 VELOCIDAD DE DISEÑO

3.1.1 Conceptos

Las curvas horizontales se diseñan en base a la velocidad de diseño o específica, mediante el modelo de equilibrio dinámico de una masa puntual, de manera de equilibrar las fuerzas laterales mediante la especificación del radio, del peralte, y de la fricción lateral. Puesto que éste enfoque no considera el comportamiento del conductor, siempre existen discrepancias entre la velocidad usada para el diseño y la velocidad de operación.

Investigaciones hechas por Bonneson (2000) muestran que los conductores efectivamente reducen la velocidad al entrar en una curva a pesar de que no sea cómoda y no más allá de los límites de sus propias habilidades, siendo los factores más importantes para tomar estas decisiones, el radio de curvatura y la velocidad de aproximación a la curva.

Operacionalmente, una curva puede segmentarse en 4 tramos. La aproximación, la zona de descubrimiento de la curva, la zona de entrada y elección de velocidad, y la salida. Dependiendo de la velocidad, la zona de descubrimiento de la curva tiene entre 75 y 100 m, distancia que permite al conductor ajustar su velocidad y trayectoria en la entrada. La problemática de seguridad surge cuando los conductores seleccionan una velocidad de circulación superior a la de diseño, dada la geometría del conjunto tangente curva- tangente, incrementando el riesgo de accidentes. En estos casos es necesario establecer una velocidad límite que oriente a los conductores sobre la elección de la velocidad en las curvas horizontales.

La velocidad límite es la máxima velocidad a la que se puede circular por una vía o por una parte de ella. Por un lado se define la máxima velocidad legal establecida por la legislación de tránsito de cada país, y por otro el límite de velocidad que restringe la velocidad en zonas específicas de una vía, y que es menor a la máxima velocidad legal sus funciones principales son las de limitar las velocidades escogidas por el

conductor y advertirle de un posible cambio en la geometría de la vía que pueda ser potencialmente peligrosa e inesperada.

3.2 TIPOS DE VELOCIDAD

Para estudiar la velocidad de los vehículos en una sección de una carretera o a lo largo de un tramo de ella, se puede realizar directamente unas mediciones o emplazar unos modelos matemáticos de los vehículos y de sus conductores, comprobados por la medición de la velocidad de los primeros y por una observación del comportamiento de los segundos por lo tanto

Se define la velocidad como el espacio recorrido en un determinado tiempo cuando la velocidad es constante, queda definida como una función lineal de la distancia y el tiempo siendo su formula

$$V = \frac{d}{t} \quad \text{Ec.3.30}$$

Dónde:

V = velocidad constante (Km/h)

d = distancia recorrida (km)

t = tiempo de recorrido (h)

3.2.1 Velocidad de punto

Conocida como velocidad instantánea, es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto específico de una vía. Se presentan dificultades prácticas para la medición de la velocidad de punto ya que la misma por definición se presenta en un tramo de recorrido bastante corto, en la actualidad existen dispositivos de medición de tipo electrónicos y electromecánicos que facilitan su medición, como ser: tubos neumáticos transversales, radares Doppler, enescopios

3.2.2 Velocidad media temporal

La velocidad media temporal o velocidad media-tiempo, es la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo seleccionado

Para datos de velocidades de punto no agrupados, la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad \text{Ec.3.31}$$

Dónde:

\bar{V}_t = Velocidad media temporal

V_i = velocidad del vehículo i

n = número total de vehículos observados o tamaño de la muestra

Para datos de vehículos de puntos agrupados, la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^m (f_i V_i)}{n} \quad \text{Ec. 3.32}$$

$$n = \sum_{i=1}^m f_i \quad \text{Ec. 3.33}$$

Dónde:

m = número de grupos de velocidad

f_i = número de vehículos en el grupo de la velocidad i

V_i = velocidad de punto del grupo "i"

3.2.3 Velocidad media espacial

La velocidad media espacial o velocidad media-espacio es la media aritmética de las velocidades de los vehículos que en un instante dado ocupan un tramo de una vía.

Es un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia entre el promedio de los tiempos, empleados por los vehículos en recorrido.

Su fórmula matemática es:

$$\bar{V}_e = \frac{d}{\bar{t}} \quad \text{Ec. 3.34}$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \text{Ec. 3.35}$$

Dónde:

\bar{V}_e = velocidad media espacial

d = distancia dada o recorrida

\bar{t} = tiempo promedio de recorrido

n = número total de vehículos observados

También se expresa mediante la siguiente ecuación

$$\bar{V}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{V_i} \right)} \quad \text{Ec. 3.36}$$

Dónde:

V_i = velocidad del vehículo “i”

La velocidad media espacial y la velocidad media temporal no son iguales. J.C.

Wardrop demostró que:

$$\bar{V}_t = \bar{V}_e + \frac{S_e^2}{\bar{V}_e} \quad \text{Ec.3.37}$$

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_e)^2}{n}$$

Ec.3.38

Dónde:

S_e^2 = varianza de la distribución de velocidad en el espacio

En la práctica se hace necesario transformar velocidades medias temporales a velocidades medias espaciales, se obtienen entonces de manera aproximada que

$$\bar{V}_e = \bar{V}_t - \frac{S_t^2}{\bar{V}_t}$$

Ec.3.39

$$S_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^m f_i (V_i - \bar{V}_t)^2}{n}$$

Ec. 3.40

Dónde:

S_t^2 = varianza de la distribución de velocidad en el tiempo

La velocidad media espacial es igual a la velocidad media temporal únicamente cuando la varianza de la velocidad media espacial es igual a cero, es decir todos los vehículos transitan a una misma velocidad

Cuando las velocidades de los vehículos no son iguales la velocidad media temporal es siempre mayor que la velocidad media espacial; esto se debe a que en un tramo de una vía en estudio, la muestra de velocidad de punto al final del tramo tiende a incluir algunos vehículos veloces que no están en el tramo al inicio del estudio, y a su vez tienden a incluir algunos vehículos lentos que si están dentro del tramo de vía

3.2.4 Velocidad de recorrido total

La velocidad de recorrido total es la distancia total recorrida, en un tramo relativamente largo, dividida entre el tiempo total de recorrido. En el tiempo de recorrido se incluye las demoras debidas al tránsito ajeno a la voluntad del conductor, no incluye demoras fuera de la vía como ser lugares de recreación, restaurantes, estaciones de servicio, etc.

Se obtienen entonces la velocidad de recorrido como un promedio de velocidades desarrolladas por un grupo de vehículos.

La relación que nos permite determinar la velocidad de recorrido total es la siguiente:

$$V_R = d_R / (t_c + t_D) \quad \text{Ec.3.41}$$

Donde:

V_R = Velocidad de recorrido total (km./h)

t_c = tiempo de circulación (hr)

t_d = tiempo de demoras (hr)

d_r = distancia de recorrido (km.)

3.2.5 Velocidad de marcha

La velocidad de marcha o velocidad de crucero se define como la distancia total recorrida dividida entre el tiempo de marcha. El tiempo de marcha excluye todas las paradas y demoras

$$V_C = D_R / T_C \quad \text{Ec. 3.42}$$

Dónde:

D_R = Distancia de recorrido

T_C = Tiempo de circulación

V_C = velocidad de cruceo

3.2.6 Velocidad de proyecto

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazo bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que solo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando en un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado

Cuadro 15: velocidad de proyecto

Categoría		Velocidad de Proyecto (km/h)		
		Plana	Ondulada	Montañosa
Carreteras	Autopistas	120	100	80
	Autorutas	100	90	80
	Primaria	100	90	80
Caminos	Colector	80	70	60
	Local	70	60	50-40
	Desarrollo	50	40	30

Fuente: Manual ABC

Cuadro 16: velocidad directriz

Tipo	Velocidad directriz (Km/h)			
	Plana	Con Lomerío	Montañosa	
			poco escarpada	muy escarpada
A	70	60	50	40
B	60	50	40	35
C	50	40	30	25

Fuente: Manual AASTHO

Fig. 10: Curva N°2 Tramo Padcaya – La Mamora

Fuente propia

3.2.7 Velocidad específica de la curva horizontal (V_{CH})

Es la velocidad a la cual se puede circular por un elemento del trazo, considerado individualmente, en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, los neumáticos en buen estado y sin que existan condiciones meteorológicas, del tránsito, del estado del pavimento o del entorno de la vía, que imponga limitaciones a la velocidad

La velocidad específica se aplica a los elementos curvos de la planta la velocidad específica debe entenderse como la máxima velocidad a la que puede recorrer a una curva horizontal de radio y peralte dado

Se presentan cinco casos diferentes de velocidades en curvas horizontales que son:

- a) La longitud del segmento recto es muy corta y el conductor juzga que no tiene tiempo suficiente para obtener plena claridad sobre la curva siguiente, por lo tanto, no modifica su velocidad.

Fig. 11 Curva N° 4 Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

- b) La longitud del segmento recto es relativamente corta (el conductor percibe que la curva está muy cerca). Si el ángulo de deflexión de la curva es menor a 45° el conductor tiene una noción razonablemente clara de la situación. En consecuencia, no modifica su velocidad.

Fig. 12: Curva N° 8 Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

- c) La longitud del segmento recto es relativamente corta (el conductor percibe que la curva está muy cerca). Si el ángulo de deflexión de la curva es mayor o igual a 45° el conductor tiene una noción incierta del trazado que sigue. En consecuencia, reduce su velocidad al aproximarse a la curva

Fig. 13: Curva N° 5 Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

- d) La longitud del segmento recto es suficientemente larga para que los conductores incrementen su velocidad al salir de la curva anterior. Sin embargo, no hay suficiente tiempo para que el incremento sea drástico.

Fig. 14: Recta Hacia La Curva N° 6 Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

- e) El segmento recto presenta una longitud relativamente larga, suficiente para que los conductores decidan aumentar la velocidad 20 km/h por encima de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR) al que pertenecen las curvas horizontales

Fig. 15: Recta Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

3.2.8 Velocidad en la tangente horizontal

Para la verificación de la Distancia de visibilidad de adelantamiento, en una tangente horizontal y para la asignación de la Velocidad Específica de una curva vertical, incluida en dicha tangente, es necesario establecer la probable velocidad a la que circularían los vehículos por ella. En carreteras de una calzada, un vehículo puede ingresar a la tangente saliendo de la curva horizontal localizada en un extremo, que tiene una determinada Velocidad Específica, o saliendo de la curva localizada en el otro extremo, que también tiene su propia Velocidad Específica. Los vehículos van a circular por la tangente a la velocidad a la que salieron de la curva siendo críticos los que entraron a la tangente desde la curva horizontal que presenta la Velocidad Específica mayor. En consecuencia, la Velocidad Específica de la tangente horizontal, debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas

3.2.9 Velocidad de operación

Es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función a la velocidad de diseño, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y las interferencias son bajas, la velocidad de operación del vehículo es del orden de la velocidad de diseño por tramo homogéneo, no debiendo sobrepasar a esta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta, tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación, entre una vía existente con características similares a una vía en proyecto, a fin de seleccionar una velocidad de diseño por tramos homogéneos, lo más acorde con el servicio que se desee brindar.

Un concepto utilizado para la mejor estimación de la velocidad de operación, es el denominado percentil 85 de la velocidad, que consiste en determinar la velocidad

bajo la cual circula el 85% de los vehículos. Considerando la velocidad de operación en cada punto del camino, es posible construir un diagrama de velocidad de operación: velocidad de operación – distancia, donde se podrán apreciar aquellos lugares que puedan comprometer la seguridad en el trazado.

Cuadro 17: Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102,10 - \frac{3077,13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105,98 - \frac{3709,90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104,82 - \frac{3574,51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96,61 - \frac{2752,19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105,32 - \frac{3438,19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m / %)	$V_{85} = 103,24 - \frac{3574,51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V85 se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m / %) sobre recta horizontal	V85 se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105,08 - \frac{149,69}{R}$

Fuente: Manual de AASHTO

Nota:

V85 = Percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)

R = Radio de curva (m)

3.3 AFORO DE VELOCIDADES

Hay numerosos procedimientos para determinar la velocidad de los vehículos en circulación. Están los que podríamos denominar de “base fija” y los de tipo radar. Los primeros son siempre sistemas fijos. Los segundos pueden ser sistemas fijos o sistemas portátiles. Los sistemas de “base fija” consisten en dos sensores de ejes colocados en el suelo a una distancia conocida (cronometro, a fibra óptica, tubos neumáticos, y con ciertas limitaciones, hasta lazos inductivos) y medir el tiempo que una misma rueda tarda en pasar por encima de ellos. También se pueden utilizar dos rayos (infrarrojos, laser, visibles) y determinar de igual manera el tiempo que tardan en ser interrumpidos por el frente del vehículo los sistemas tipo radar se basan en emitir una radiación electromagnética sobre un vehículo y analizar la onda reflejada.

3.3.1 Métodos

Los métodos empleados para realizar los estudios de velocidades en el sitio se pueden ser manuales o automáticos

➤ Manual

Midiendo una distancia sobre la vía, se calcula con un cronómetro el tiempo que emplea el vehículo en recorrerla. La longitud de la línea base se determina por la visibilidad, características físicas de la vía y la velocidad general de los vehículos que se observan.

Cuando el tránsito es muy intenso, no es posible medir la velocidad de cada vehículo y hay que hacer una selección al azar; por ejemplo observando un vehículo cada 2 minutos – 3 minutos, etc o cada 15 a 20 seg.

Fig. 16: curva N° 4 Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente propia

3.3.1.1 Método de radar

Se basa en el principio fundamental de una onda de radio reflejada por un objeto en movimiento que experimenta una variación en su frecuencia en función velocidad del objeto. Estos instrumentos son portátiles y cuando se apunta con ellos a un vehículo indican inmediatamente su velocidad en un cuadrante, con una precisión de unos 3 km/h. No tienen elementos que haya que colocar sobre la calzada y trabajan a una distancia de hasta 45 m; pero funcionan mejor a unos

10m de la trayectoria de los vehículos y a un ángulo de 15° de ella

Fig. 17: Pistola radar portátil



3.3.1.2 Fotografías aéreas.

Obteniendo fotografías sucesivas de la carretera y midiendo la distancia recorrida entre dos fotografías sucesivas. En este caso se miden las velocidades de los vehículos en un momento dado. Este método se emplea raras veces.

En los sistemas anteriores se miden las velocidades de los vehículos en un punto dado. La velocidad en un tramo de carreteras varía mucho en función de unos vehículos a otros. Incluso cuando se estudia la velocidad de un sólo vehículo, se ve que esta no permanece constante aún cuando el conductor quiera mantener una velocidad fija.

3.3.1.3 Detectores puntuales.

Estos sistemas son capaces de detectar el paso de un elemento del vehículo. En general sus ruedas. Por ello se denominan también, detectores de ejes. Pueden ser:

- Tubos neumáticos.
- Detectores ópticos

- Interceptores.
- Cables piezómetros
- Cable o tubos eléctricos

Fig. 18: tubos neumáticos



3.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD

3.4.1 Análisis de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto para un tramo específico de una vía, sirve para determinar las características de la velocidad en dicho tramo bajo las condiciones atmosféricas y de tráfico al momento de realizar dicho análisis. Las velocidades agrupadas en un tiempo y espacio dados, presentan un coeficiente de dispersión alto, por lo que puede representarse mediante una distribución normal de velocidades que es lo que mejor se acomoda al tipo de datos

El análisis de velocidad de punto se aplica para:

- Especificar la tendencia de los vehículos en un tramo especificado
- Determinar la relación entre accidentes y velocidad que pueda ayudar a tomar medidas de corrección para evitar accidentes
- Establecer límites de velocidades máximas y mínimas
- Delimitar longitudes en zonas de rebase prohibido
- Evaluar los efectos de la distribución de las velocidades reales en las características de los elementos geométricos de la vía

3.5 MODELOS DEL COMPORTAMIENTO

3.5.1 Modelos de velocidad de operación que consideran efecto de la tangente de entrada

Dentro de la categoría de modelos de velocidad de operación – geometría para curvas horizontales aisladas, son escasos aquellos que consideran directa o indirectamente el efecto de la tangente de entrada. Los modelos de McLean (1981) (Ec. 3.52) y Simpson y Kerman (1982) (Ec. 3.52).

Consideran además del radio de curvatura (R, en m) la velocidad en la tangente de aproximación (V_a en km/h), con lo cual incluyen el efecto de la velocidad en la tangente de entrada, pero no los cambios de velocidad en el interior de las curvas horizontales.

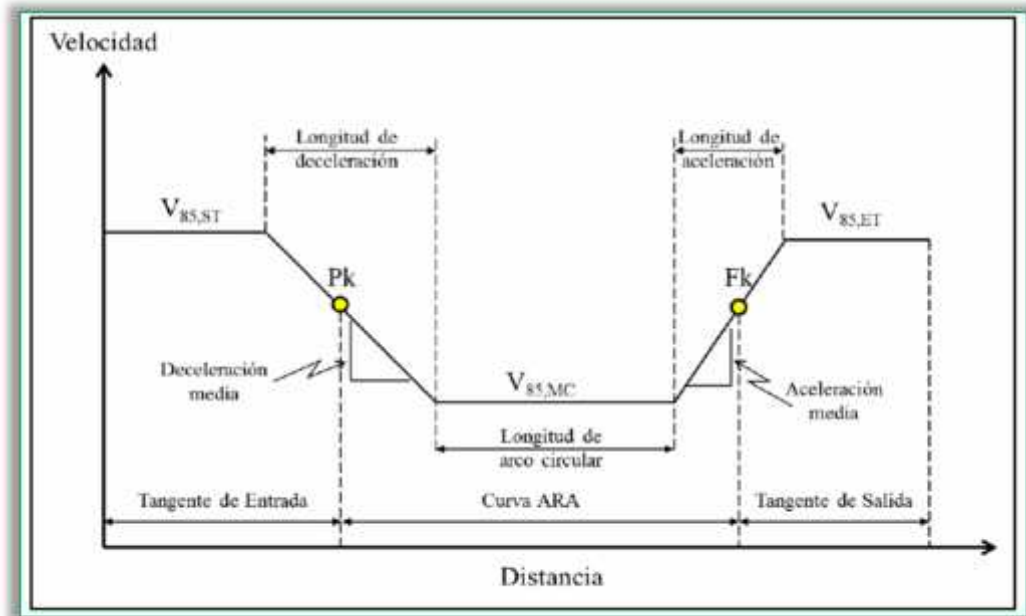
$$a_1 = 0,0006 * V_a^{3.26} \quad \text{Ec. 3.52}$$

$$V_{85} = V_a * \left[1 - \frac{V_a^2}{400 * R} \right] \quad \text{Ec. 3.53}$$

Los modelos de la Ec. 3.52 y 3.53 estiman la velocidad de operación en la mitad de la curva y el efecto de la velocidad deducida en la tangente de aproximación mediante métodos cinemáticos, que explican la variación de velocidad en tangentes largas. Este enfoque de modelación es consistente con el modelo conceptual de Campbell et al (2008) en el sentido que logra explicar la variación de velocidad antes de ingresar a la curva horizontal pero no en su interior.

Figuroa y Tarko (2007) plantean un enfoque conceptual similar. Desarrollaron un modelo de predicción de velocidad que incluye la variabilidad de la velocidad de operación en el interior de la curva.

Cuadro 18: Modelo conceptual de velocidad de operación



Fuente: tesis doctoral de universidad nacional de córdoba

3.5.2 Modelos para la estimación de velocidad de operación en curvas

La velocidad de operación es constante a lo largo de toda la curva circular. Además, la velocidad de operación utilizada en la calibración del modelo y la estimada por el suelo es la del punto medio de la curva, considerando que en él se presenta la velocidad mínima de la curva.

En el cuadro 19 se presenta una relación de los modelos más relevantes para la estimación de la velocidad en curvas horizontales en la que sea considerado únicamente el radio de curvatura.

Cuadro19: Modelos para estimación de velocidad de operación en curvas con el radio o el grado de curvatura como variables independientes

Año	Autor (es)	Modelo
1954	Taragin	$v_{85} = 88.87 - \frac{2554.76}{R}$
1981	McLean	$v_{85} = 101.2 - \frac{2730}{R}$
1986	Giennon et al.	$v_{85} = 103.96 - \frac{4524.94}{R}$
1986	Lamm y Choucri	$v_{85} = 94.39 - \frac{3189.94}{R}$
1988	Lamm et al.	$v_{85} = 94.398 - \frac{3188.656}{R}$
1990	Kanellaidis et al.	$v_{85} = 109.09 - \frac{3837.55}{R}$
1990	Kanellaidis et al.	$v_{85} = 129.88 - \frac{623.1}{\sqrt{R}}$

1993	Ottesen	$v_{85} = 103.64 - \frac{3400.73}{R}$
1994	Ottesen y Krammes	$v_{85} = 103.70 - \frac{3403}{R}$
1994	Morrall y Tatarico	$v_{85} = e^{4.564 - 0.00586 \cdot DC}$
1994	Istam y Seneviratne	$v_{85} = 103.03 - \frac{4208.76}{R} - \frac{36597.92}{R^2}$
1995	Krammes et al.	$v_{85} = 103.66 - 1.95 \cdot DC$
1999	Lamm et al.	$v_{85} = 95.594 - 1.597 \cdot DC$
1999	Pasetti y Fambro	$v_{85} = 103.90 - \frac{3020.50}{R}$
2000	Ottesen y Krammes (Modelo 1)	$v_{85} = 103.66 - 1.95 \cdot DC$

Fuente: caracterización y modelización de la velocidad “univesitat politécnica de catalunga”

Cuadro 20: Modelo para la estimación de la velocidad considerando otras variables

Año	Autor (es)	Modelo	Condiciones
1987	Lamm y Choucri	$v_{85} = 89.55 - \frac{2862.69}{R}$	LW=3.0 m
1987	Lamm y Choucri	$v_{85} = 93.83 - \frac{2955.40}{R}$	LW=3.3 m
1987	Lamm y Choucri	$v_{85} = 96.15 - \frac{2803.70}{R}$	LW=3.6 m
1994	Islam y Senaviratno	$v_{85} = 95.41 - 1.48 \cdot DC - 0.012 \cdot DC^2$	Comienzo
1994	Islam y Senaviratno	$v_{85} = 103.30 - 2.41 \cdot DC - 0.029 \cdot DC^2$	Punto medio
1994	Islam y Senaviratno	$v_{85} = 96.11 - 1.07 \cdot DC$	Final
1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$	$-9\% \leq G < -4\%$
1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$	$-4\% \leq G < 0\%$
1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$	$0\% \leq G < 4\%$
1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$	$4\% \leq G < 9\%$
1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$	Acuerdo cóncavo

1996	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$	Acuerdo cóncavo
2000	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 106.30 + \frac{3595.29}{R}$	$0\% \leq G < 4\%$ ó HC+ cóncavo
2000	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 96.46 - \frac{2744.49}{R}$	$4\% \leq G < 9\%$
2000	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 100.87 - \frac{2720.78}{R}$	$-9\% \leq G < 0\%$
2000	Fitzpatrick et al.	$v_{85} = 101.90 - \frac{3283.01}{R}$	Acuerdo cóncavo
2010	Castro et al.	$v_{85} = 35.43 - 0.219 \cdot R$	$-9\% \leq G < -4\%$
2010	Castro et al.	$v_{85} = 37.18 - 0.1 \cdot R + 0.04 \cdot R_{B-1}$	$4\% \leq G < 9\%$
2010	Castro et al.	$v_{85} = 102.70 - 730.39/R + 1498.90/L_C$	Acuerdo cóncavo
2010	Castro et al.	$v_{85} = 93.79 - 867.61/R + 935.62/L_C$	Acuerdo cóncavo

Fuente: caracterización y modelización de la velocidad “univesitat politécnica de catalunga”

Dónde:

R = radio (m)

DC = grado de curvatura (° por 100 pies de arco)

LW = ancho de carril

G = pendiente

L_c = longitud de la curva (m)

R_{n-i} = radio de la curva anterior (m)

3.6 VISIBILIDAD

Todas las normas de diseño geométrico han coincidido que un parámetro importante de la geometría de una carretera es la visibilidad para ella sean establecido tres parámetros de visibilidad que son:

3.6.1 Distancia de visibilidad para parar

En el movimiento de los vehículos de la carretera se van a presentar obstáculos que obliguen al vehículo a frenar o detenerse para ello debe existir la distancia suficiente para parar, que tiene dos componentes la primera de percepción y reacción del conductor ante la presencia del obstáculo y la segunda de acción de frenado propiamente.

$$d_o = \frac{V * t}{3,6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

Ec.3.45

Dónde:

d_o = Distancia para parar (m)

V = Velocidad de diseño (km/h)

t = Tiempo de reacción y percepción (1,5-2seg)

f = Coeficiente de fricción (0,2-0,9)

i = Pendiente longitudinal de entrada (decimal)

3.6.2 Distancia de visibilidad para pasar

Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de adelantamiento, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento. La distancia de visibilidad de adelantamiento debe considerarse únicamente para las carreteras de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto

$$ds = \frac{(V - m) * t_1}{3,6} + 2 * S + \frac{(V - m) * t_2}{3,6} + \frac{V * t_2}{3,6} \quad \text{Ec. 3.46}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{14,4 * S}{a}} \quad \text{Ec. 3.47}$$

$$S = 0,189 * (V - m) + 6 \quad \text{Ec. 3.48}$$

Dónde:

ds = Distancia para parar (m)

a = Aceleración (Km/h* seg)

m = Diferencia de velocidad ($V_1 - V_2$)

t_2 = Tiempo de ejecución del sobrepaso (seg)

t_1 = Tiempo de reacción y percepción antes de realizar el sobrepaso (seg)

V = Velocidad de proyecto (km/h)

3.6.3 Distancia de visibilidad horizontal en curvas

En la trayectoria curva de la carretera la misma curvatura puede generar un obstáculo de visibilidad para ello se debe determinar cuál es la distancia horizontal de visibilidad en la curva que nos permite delimitar las restricciones para que un vehículo ocupe el carril de sentido contrario

$$Dh = 2 * \sqrt{(R'')^2 - (R' - m)^2} \quad \text{Ec. 3.49}$$

$$R'' = R' - \frac{a}{2} \quad \text{Ec. 3.50}$$

$$m = R' * \left(1 - \cos \frac{G * do}{20} \right) \quad \text{Ec. 3.51}$$

Dónde:

R' = Radio del carril interior

m = Relación de la flecha dada en función del grado de curvatura

a = Ancho de carril (m)

4.1 UBICACIÓN EN EL CONTEXTO REGIONAL

4.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS TRAMOS

4.1.1.1 Tramo Padcaya – La Mamora

El área en estudio está ubicada en los tramo Padcaya – La Mamora en la provincia Arce política y administrativamente consta de dos secciones municipales: Padcaya y Bermejo de departamento de Tarija Estado Plurinacional de Bolivia

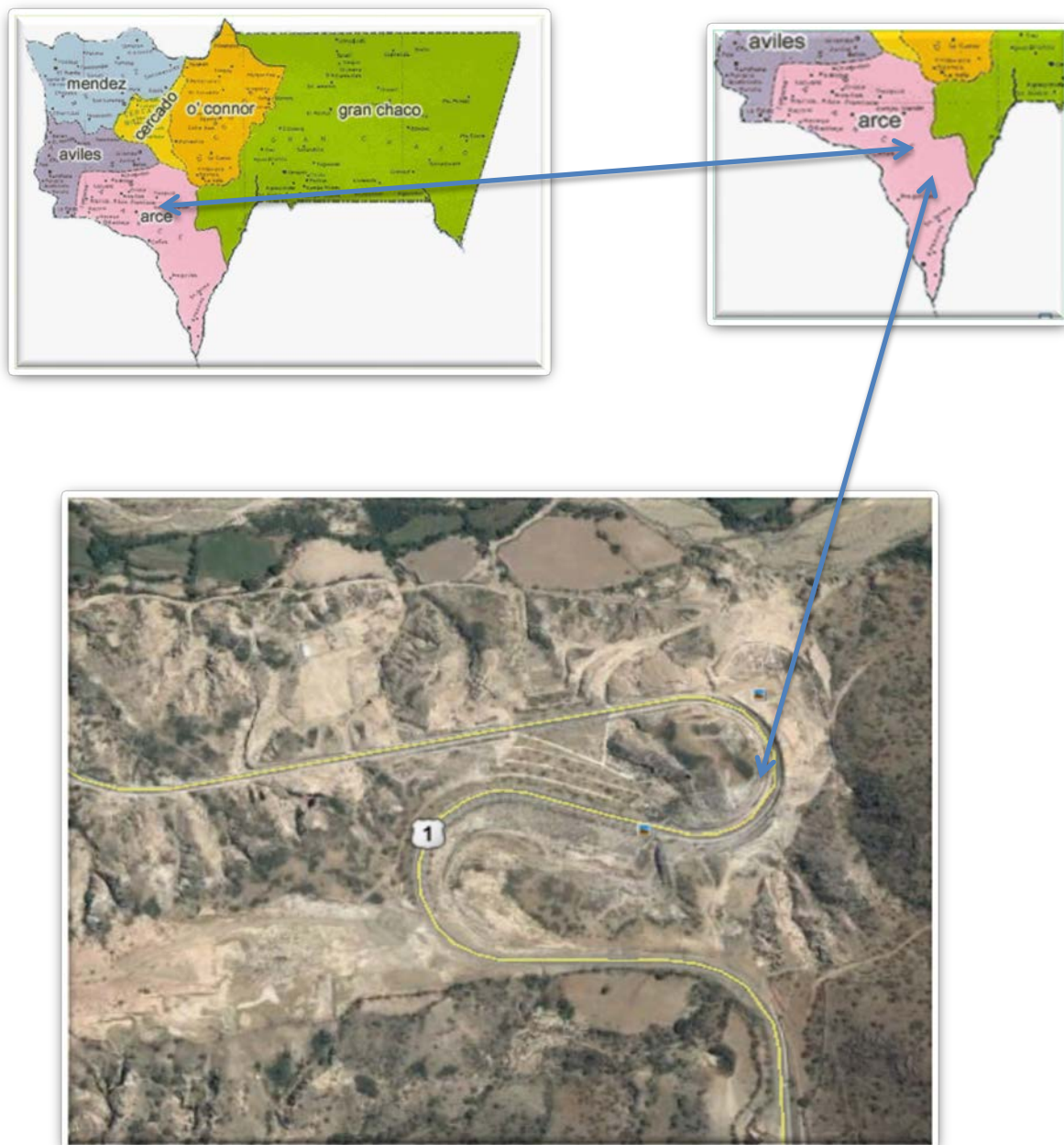
La primera sección de la provincia Arce que corresponde al Municipio de Padcaya, se encuentra ubicada entre los paralelos: $22^{\circ}35'51''$ y $21^{\circ}46'08''$ de latitud sur; y entre los meridianos: $65^{\circ}05'35''$ y $64^{\circ}04'39''$ de longitud oeste

El área en estudio está localizada el camino troncal en dirección Nor-oeste a Sur–este de la ciudad de Tarija a una distancia de 49 km siendo toda la carretera asfaltada

La primera Sección o Municipio de Padcaya, por constituir el 81% del territorio provincial, tiene como límites norte, este y oeste, los mismos de la provincia, es decir, las provincias Avilés, Cercado, O'Connor y Gran Chaco, variando solamente al sur, donde limita con la segunda sección y la República Argentina.

Figura N°19: localización del proyecto en el contexto del departamento de Tarija





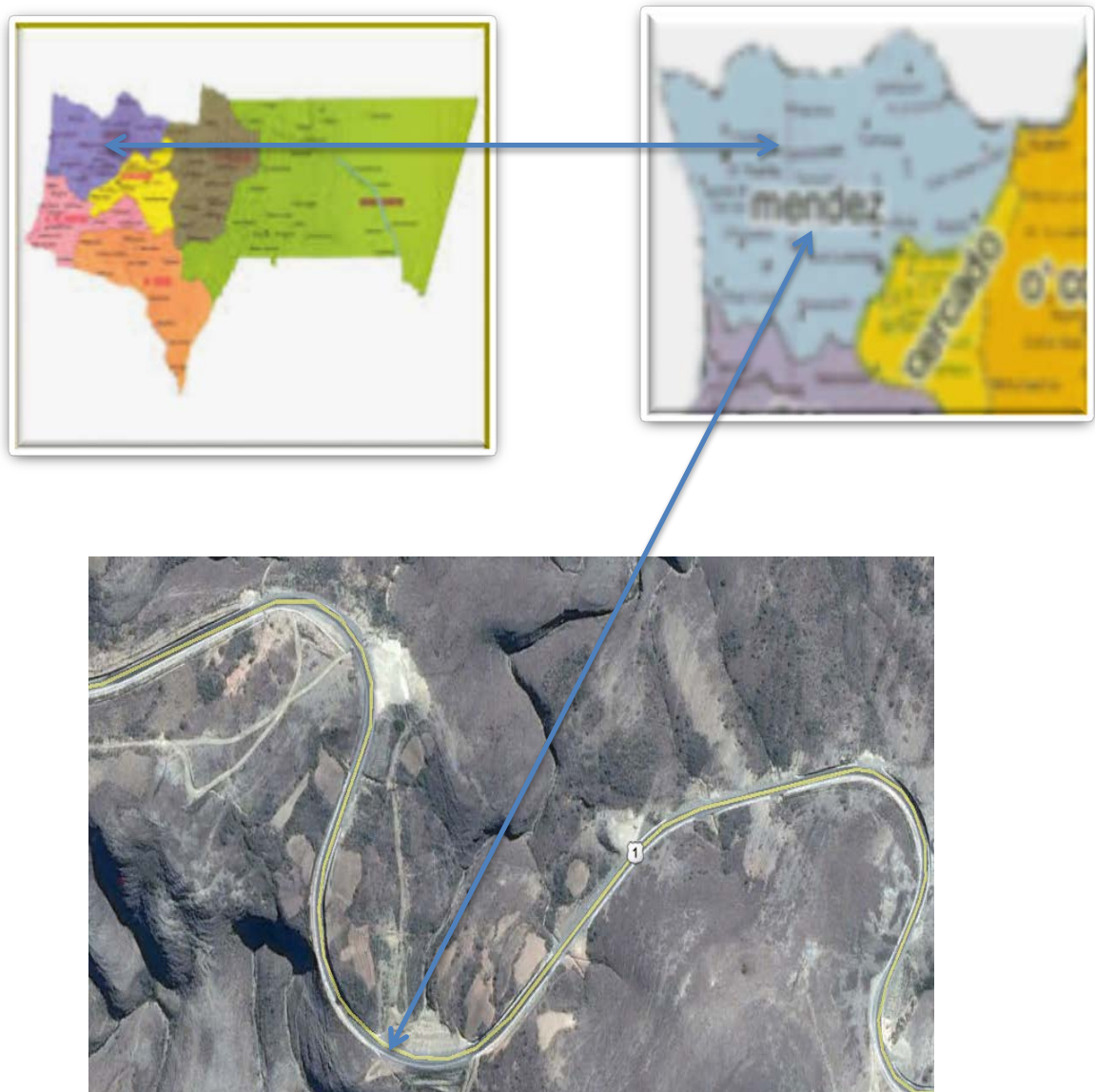
4.1.1.2 Tramo Cruce San Lorenzo – Falda La Queñua

El área en estudio está ubicado en el tramo Cruce San Lorenzo –Falda La Queñua en la provincia Méndez se encuentra localizada al Noreste del Departamento de Tarija, geográficamente se encuentra entre los paralelos 20°56' y 21°36' de latitud sur y los 64°05' y 65°13' de longitud oeste, representan el 12.91 % del territorio departamental.

La primera sección de la provincia Méndez limita al Norte con el departamento de Chuquisaca, al Sur con la provincia Cercado y Avilés, al Este con la provincia O'Connor y Cercado, al Oeste con la Segunda sección de la provincia Méndez.

El tramo en estudio está localizado a 16 km de la ciudad de Tarija pasando por las localidades de Rancho Cochás, Lomas de Alkamari y Tres Morros, hasta llegar a San Lorenzo, donde sigue por una planicie formada en el margen izquierdo del río Calama, el cual se cruza con un puente.

Figura N°20: localización del proyecto en el contexto del departamento de Tarija



4.2 CARACTERISTICAS DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

4.2.1 Tamo Padcaya – La Mamora

Este tramo tiene una longitud de 44 km y forma parte del tramo entre la población de la Merced y de La Mamora. Se encuentra ubicado en una zona donde la intervención humana es evidente por lo que los mayores impactos que se producen están relacionados con el medio físico, principalmente con el factor suelo, donde es pertinente proteger de la erosión los cortes de terreno y los rellenos mediante la siembra de vegetación

La topografía es bastante irregular, con variadas altitudes, en ellas se halla con frecuencia:

- Terrenos escarpados: con 50 a 75% de pendiente
- Fuertemente ondulados y quebrados: 12 a 25% de pendiente
- Ligeramente ondulados: de 3 a 90% de pendiente
- Terrenos casi planos (una mínima área): 2 a 3% de pendiente

El tramo en estudio comienza en la progresiva 0+915,392 hasta 44+528,362 tiene una longitud de 44km donde se ubicó las curvas horizontales sucesivas siendo 7 curvas en estudio y una recta de 100 m las características de la vía son:

Cuadro N° 21: Características de la vía

Características de la vía	
Ancho de Plataforma	7 m
Ancho de berma	0,5 m
Pendiente máxima	7,5%
Velocidad directriz en zona llana	60 km/h
Velocidad directriz en zona ondulada	40 km/h
Ancho de carril	3,5 m

Fuente: Manual ABC

Fig. N°21: tramo Padcaya- la Mamora



Fuente: Propia

4.2.2 Tramo Cruce San Lorenzo – Falda La Queñua

El estudio de la Variante Falda la Queñua, su paso es a través de la Cumbre de Sama, cuya altitud actual alcanza los 3.950 m.s.n.m. Posibilitaron desarrollar un trazado a través de una variante por el faldeo del cerro de la Queñua, con mejores Características técnicas llegándose a una altitud máxima de 3.480 m.s.n.m., en el paso del referido cerro. Cruzando el cerrero La Queñua por un túnel de 1.220 m de longitud

Fig N° 22: túnel Falda La Queñua



Fuente: Propia

El tramo en estudio comienza en la progresiva 1+924,198 hasta 31+687,252 teniendo una longitud del tramo en estudio 29,76 km donde se ubicó las curvas sucesivas horizontales siendo 9 curvas estudiadas en el tramo y una recta de 100 m

Cuadro N°22: Topografía del tramo

PROGRESIVA		LONGITUD (KM)		
DESDE	HASTA	LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
0+000	3+500		3,500	
3+500	36+000			32,500
36+000	40+820		4,820	
TOTAL		0	8,320	32,500
	%	0	20,4	79,6

Fuente: Manual ABC

La plataforma del tramo tiene un ancho de 9 m teniendo las siguientes características

Cuadro N° 23: Características de la vía

Características de la vía	
Ancho de calzada	7,30 m
Ancho de carril	3,65 m
Ancho de bermas	0,85 m

Fuente: Manual ABC

4.2 RELEVAMIENTO PLANÍMETRO Y ALTIMÉTRICO

4.1.2 Tramo Padcaya la Mamora

El alineamiento horizontal del tramo en estudio se realizó a 7 curvas sucesivas donde la topografía del lugar es bastante escarpada con estos parámetros de la topografía se considera algunos aspectos de diseño en planta que son los radios de curvatura, longitud de la curva y ángulo de deflexión con la formula siguiente que para carretera

$$L_{\text{mins}} = 1,3 \cdot Vd \quad L_{\text{mins}} = 1,3 \cdot 40 \quad \mathbf{L_{\text{mins}} = 52m}$$

Dónde:

L_{mins} = longitud mínima de la curva en S o simple

Las curvas simples o en S que son cinco y dos compuestas con radios de diferentes sentidos, dentro del tramo en estudio, cumplen con las condiciones de diseño y los radios de curvatura están dentro del rango establecido

En el diseño altimétrico las pendiente están dentro lo instaurado por la con la norma ABC y ASSTHO, con los siguientes cuadros se reflejara la planimetría y altimetría del tramo

Fig. N° 23: carretera Padcaya – La Mamora



Fuente: Propia

Cuadro N° 24: Relevamiento planímetro y altimétrico

CURVA SUCESIVA SIMPLE N° 1							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
15 A	4+033,172	4+299,323	146,540	88°23'14,80"	40	162,902	186,060
Medio	4+340	4+360	0	0	0	0	0
16 A	4+413,11	4+656,411	152,010	76°37'43,16"	40	140,447	163,302
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-5.0179	7.122				
	60	7.122	7.122				
	40	7.122	4.40				

CURVA SUCESIVA SIMPLE N° 2							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
20	5+997,313	6+327,457	160	103°53'52,91"	40	224,937	250,138
Medio	6+400	6+420	0	0	0	0	0
21	6+961,877	7+099,345	160	103°23'24,09"	40	223,076	248,719
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	2.6312	-5.749				
	60	-5.749	-5.749				
	40	-5.749	-5.749				

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°3							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
28	8+803.784	9+017.864	125	77°9'6,82"	46,76	123,634	121,559
Medio	9+030	9+050	0	0	0	0	0
29	9+106.505	9+228.817	200	46°29'56,14"	40	106,061	122,312
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-0.7866	7.455				
	60	7.455	6.3265				
	40	6.3265	-7.5				

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N°4								
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)	
	Entrada	Salida						
38A	11+648,729	11+832,55	89	103°51'8,19"	45	136,298	138,818	
38B	11+832,55	12+016,370	89	103°51'5,47"	50	136,298	138,817	
39A	12+138,164	12+345,138	106	98°21'42,48"	50	147,817	156,974	
39B	12+345,138	12+552,116	106	98°21'43,34"	50	147,817	156,974	
40A	12+684,629	12+903,404	109	88°42'59,87"	50	132,474	118,775	
41A	13+006,866	13+168,631	125	51°13'45,19"	50	85,295	61,765	
Medio	13+200	13+220	0	0	0	0	0	
42A	13+245,382	13+403,902	125	49°44'30,36"	50	83,298	58,520	
	Velocidad km/h		Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida					
38A	40							
38B		6,9	6,9					
39A								
39B		6,9	6,9					
40A		6,9	6,9					
41A		5,8	5,8					
Medio	60	5,8	5,8					
42A	40	5,8	5,8					

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°5								
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)	
	Entrada	Salida						
Recta	15+320	15+340	0	0	0	0	0	
49 A	15+395,131	15+548,958	120	49°34'25,59"	50	80,779	53,827	
50A	15+560,316	15+761,512	120	72°11'27,20"	50	113,087	101,196	
	Velocidad km/h		Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida					
	60	-3.3204	-3.3204					
	40	-3.3204	1,055					
		1,055	1,055					

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N°6								
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)	
	Entrada	Salida						
Recta	22+840	22+860						
69B	22+889,535	23+183,604	85	164°31'7,58"	50	659,251	194,069	
70	23+183,604	23+328,094	78,47	68°59'28,62"	50	79,747	44,488	
71	23+363,331	23+441,993	60	46°28'3"	20	45,06	18,661	
71A	23+441,993	23+706,764	108,47	110°48'6,65"	70	193,490	154,766	
	Velocidad km/h		Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida					
	60	-6,20	-6,20					
	40	6,20	-6,20					
		-6,20	-6,20					
		-7,51	-7,51					
		-7,51	-7,51					

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°7							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
Recta	44+020	44+040	0				
140	44+082	44+177,852	80	39°58'18,52"	40	49,326	15,811
141	44+179,498	44+344,468	80	96°39'57,91"	30	105,403	104,971
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	60	2,86	2,86				
	40	-2,83	-2,83				
		-2,83	-2,83				

Fuente: Planos Asbuilt proporcionas por la ABC

4.1.3 Tramo Cruce San Lorenzo – Falda La Queñua

Este tramo tiene una topografía montañosa, el alineamiento planímetro y altimétrico tiene muchas restricciones que las pendientes son muy altas, longitud mínima de la curva no cumple con la fórmula siendo en ninguna de la curva en estudio que son 9 esto se debe a la topografía del lugar.

Fig N° 24: topografía Falda la Queñua



Fuente: Propia

Cuadro N° 25: Relevamiento planímetro y altimétrico

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N° 1							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 107	26+299,99	26+551,57	74	163°49'16"	40	546,91	135,65
PI 106	26+079,43	26+242,28	55	127°58'58"	40	135,10	75,24
PI 105	25+746,33	25+998,98	85	143°20'27"	40	278,90	144,46
PI 104	25+535,64	25+717,92	80	101°53'59"	40	119,60	95,45
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40		0,86	0,86			
			-8,00	-8,00			
			-8,00	-8,00			
			-8,00	-8,00			

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N°2							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 94	23+291,92	23+480,02	52,25	162°23'47"	40	365,54	89,82
PI 93	23+157,29	23+272,78	50	86°30'5"	40	68,18	34,75
PI 92	23+033,92	23+124,75	50	58°14'53"	40	48,49	10,81
PI 91	22+931,70	23+027,63	80	40°3'46"	40	49,43	15,91
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40		-7,99	-7,99			
			-7,99	-7,99			
			-7,99	-7,99			
			-7,99	-7,99			

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°3							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
Recta	22+530	22+550	0	0	0	0	0
PI 89	22+436,58	22+524,12	50	43°57'54"	40	45,46	27,40
PI 88	22+343,94	22+435,65	70	51°59'14"	40	48,40	31,41
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	60		-7,99	-7,99			
			-7,99	-7,99			
	40		-7,99	-7,99			
			-7,99	-7,99			

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°4							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 85	21+787,84	21+952,60	55	135°10'30"	40	155,45	83,46
PI 84	21+494,242	21+716,77	72	145°15'3"	40	253,00	120,37
PI83	21+284,50	21+448,345	165	43°0'23"	40	85,15	82,95
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-7.99	-7.99				
		-7.99	-7.99				
		-7.99	-7.99				

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°5							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 73	19+152,97	19+558	130,81	160°6'33"	40	758,90	247,80
PI 72	18+826,93	19+093,71	85	139°1'19"	60	262	128,86
Recta	18+740	18+760	0	0	0	0	0
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	60	3.27	3.27				
		40	-7.96	-7.96			
			-7.96	-7.96			

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N° 6							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 62	15+851,58	15+993,419	51	114°24'16"	40	101,06	58,12
PI 61	15+681,52	15+848,94	48,80	149°36'1"	40	204,50	76,19
PI 60	15+525,55	15+635,48	51	78°33'44"	40	62,67	29,50
PI 59	157+362,45	15+480,81	47	119°54'16"	20	91,85	68,59
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-7.47	-7.47				
		-7.91	-7.91				
		-7.91	-7.91				
		-7.91	-7.91				

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N° 7							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 21	5+170	5+202,71	51,65	113°56'312	40	99,92	0
PI 20	5+078,09	5+163,50	47	61°26'35"	35	45,99	15,33
PI 19	4+985,47	5+078,09	76	39°40'16"	40	47,68	12,60
PI 19A	4+918,304	4+974,26	130	150°50'48"	40	36,27	0
PI 18	4+815,83	4+915,682	60	49°25'19"	40	48,05	11,73
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				

CURVA SUCESIVA COMPUESTA N° 8							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 17	4+711,64	4+815,83	60	61°17'35"	40	56,13	24
PI 16	4+593,06	4+705,99	60	69°33'54"	40	62,43	32,52
PI 15	4+490,02	4+531,36	70	42°1'19"	40	47,20	11,33
PI 14	4+303,96	4+429,97	55	84°23'40"	45	73,62	35,39
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				
		-7.34	-7.34				

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°9							
Curva N°	PROG		R (m)	Δ (°)	Le (m)	T (m)	Lc (m)
	Entrada	Salida					
PI 10	3+600,72	3+754,72	47	151°9'50"	40	208,19	73,26
PI 9	3+270	3+580,35	60,65	146°25'16"	55	326,11	0
PI 8	3+047,52	3+167,65	65	70°37'49"	40	66,70	39,49
	Velocidad km/h	Pendiente %					
	Diseño (Vd)	Entrada	Salida				
	40	-8.00	-8.00				
	40	-8.00	-8.00				
	40	-8.00	-8.00				

Fuente: Planos Asbuilt proporcionas por la ABC

4.4 ESTUDIO DE VELOCIDADES

Las velocidades en una curva deben ser constantes, mediante los dos tramos estudiados los conductores no mantienen una velocidad constante para dicho estudio se debe realizar desde la tangente de entrada, otro punto en la tangente común y la de salida

Fig N° 25: Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente: Propia

Fig N° 26: Tramo San Lorenzo – Falda La Queñua



Fuente: Propia

4.4.1 Aforos

Los aforos realizados se hicieron mediante la norma AASTHO, durante un mes 3 veces por semana y 3 horas al día en cada curva y en cada punto de aforo 15min EL método utilizado es manual, donde se ubicó las curvas mediante las señalización horizontal que existe en la carretera, midiendo una distancia de 20m en el arco de la espiral y en algunas curvas en la tangente de entra mediante un cronometro se obtuvo los tiempos de cada punto de aforo en donde las curvas es S tienen 3 puntos de aforos dos en el arco de la espiral y uno en la tangente de entrada teniendo 7 curvas 5 S y 2 compuestas y una recta de 100m en el tramo Padcaya. En tramo Falda la Queñua se tiene 9 curvas en estudio 5 compuestas, 4 en S y una recta de 100m

Fig N° 27: Tramo Padcaya – La Mamora



Fuente: Propia

Cuadro N° 26: Planilla de aforos

CURVA HORIZONTAL SUCESIVA N°1				
Distancia=20m			Fecha: 04/08/2014	
Horas	PADCAYA - LA MAMORA			
	Liviano - Mediano tiempo N° 1 (s)	Velocidad km/h	Pesado tiempo N° 1 (s)	Velocidad km/h
7:00	1.3	55.38	2.74	26.28
	1.62	44.44	3.24	22.22
	1.55	46.45	1.84	39.13
	1.75	41.14	1.98	36.36
	1.39	51.80		
	1.71	42.11		
	1.44	50.00		
	1.71	42.11		
	1.39	51.80		
	0.98	73.47		
	1.39	51.80		
	1.57	45.86		
	1.21	59.50		
	1.26	57.14		
	0.9	80.00		
8:00	1.1	65.45		
Promedio		49.56		31.00
11:00	1.36	52.94	3.04	23.68
	1.56	46.15	2.48	29.03
	1.45	49.66	2.02	35.64
	1.21	59.50	2.05	35.12
	0.98	73.47	2.18	33.03
	1.64	43.90	2.36	30.51
	1.46	49.32	2.95	24.41
	1.48	48.65		
	1.32	54.55		
	1.25	57.60		
	1.54	46.75		
	1.51	47.68		
	1.61	44.72		
	1.45	49.66		
	1.67	43.11		
	1.32	54.55		
	1.38	52.17		
	1.59	45.28		
	1.32	54.55		
	1.25	57.60		
	1.44	50.00		
12:00	1.39	51.80		
Promedio		51.53		30.20

Fuente: Propia

4.4.2 Procesamiento

El procesamiento de datos fue sacar la velocidad y graficarle para ver su comportamiento del perfil de velocidad en todo el desarrollo de la curva, la fórmula para obtener la velocidad es la siguiente las demás tablas ver Anexos

$$V = \frac{d}{t} \quad \text{km/h}$$

$d = 20\text{m}$

Cuadro N° 27: Planillas de promedio de velocidad de cada curva aforada

Descripcion		PADCAYA - LA MAMORA		LA MAMORA - PADCAYA	
		Liviano - Mediano	Pesado	Liviano - Mediano	Pesado
		Velocidad Promedio (km/h)		Velocidad Promedio(km/h)	
Curva N° 1	Punto N° 1	49.13	26.77	53.16	25.36
	Punto N° 2	54.49	24.68	51.86	23.26
	Punto N° 3	48.82	24.31	50.82	24.97
Curva N° 2	Punto N° 1	49.11	25.84	52.43	28.63
	Punto N° 2	51.82	29.63	48.31	27.81
	Punto N° 3	48.473	29.397	49.118	28.687
Curva N° 3	Punto N° 1	49.45	36.56	52.92	28.61
	Punto N° 2	48.61	26.91	49.15	36.1
	Punto N° 3	52.13	34.09	48.8	28.33
Curva N° 4	Punto N° 1	48.7	27.84	51.25	31.07
	Punto N° 2	46.89	33.25	49.04	29.86
	Punto N° 3	48.92	28.24	48.09	28.94
	Punto N° 4	47.95	26.64	50.85	27.65
	Punto N° 5	50.03	28.34	51.04	29.77
	Punto N° 6	54.39	30.59	49.22	28.25
Curva N° 5	Punto N° 1	47.98	25.23	49.3	24.88
	Punto N° 2	47.84	26.99	48.4	25.34
	Punto N° 3	57.23	31.54	50.03	27.8
Curva N° 6	Punto N° 1	48.91	25.03	50.69	28.15
	Punto N° 2	47.4	22.83	48.83	26.31
	Punto N° 3	48.17	24.86	49.31	29.9
	Punto N° 4	49.22	24.76	47.49	26.13
	Punto N° 5	53.82	25.71	49.53	26.75
Curva N° 7	Punto N° 1	48.66	24.62	52.35	27.35
	Punto N° 2	49.06	28.62	48.39	28.65
	Punto N° 3	54.1	34.3	47.88	28.1
Recta		102.69	51.23	125.75	49.16

d = 20m

Descripcion		San Lorenzo - Falda La Queñua		Falda La Queñua - San Lorenzo	
		Liviano - Mediano	Pesado	Liviano - Mediano	Pesado
		Velocidad Promedio(km/h)		Velocidad Promedio (km/h)	
Curva N° 1	Punto N° 1	49.57	29.95	50.6	31.72
	Punto N° 2	49.26	24.49	47.1	21.71
	Punto N° 3	47.48	24.55	46.26	20.81
	Punto N° 4	48.77	26.04	48.26	22.48
Curva N° 2	Punto N° 1	49.37	26.81	47.23	21.76
	Punto N° 2	47.52	21.89	41.39	26.05
	Punto N° 3	45.08	26.08	50.9	21.81
	Punto N° 4	40.68	25.13	48.56	23.49
Curva N° 3	Punto N° 1	44.37	22.04	49.39	23.56
	Punto N° 2	46.87	23.13	47.92	21.14
	Punto N° 3	47.49	21.12	45.75	19.71
Curva N° 4	Punto N° 1	39.12	18.68	45.44	14.76
	Punto N° 2	43.51	22.28	42.55	20.79
	Punto N° 3	37.77	21.43	40.5	19.03
Curva N° 5	Punto N° 1	41.56	29.77	49.89	33.87
	Punto N° 2	47.75	31.76	51.97	30.81
	Punto N° 3	46.15	32.67	51.35	27.13
Curva N° 6	Punto N° 1	48.9	23.89	50.45	24.09
	Punto N° 2	48.1	27.05	47.31	30.24
	Punto N° 3	44.49	27.85	46.35	26.49
	Punto N° 4	48.54	31.57	45.76	27.94
Curva N° 7	Punto N° 1	43.1	28.46	50.09	23.83
	Punto N° 2	44.69	20.58	48.44	26.09
	Punto N° 3	41.83	30.99	51.01	28.69
	Punto N° 4	49.01	35.32	47.67	31.51
	Punto N° 5	48.57	34.36	49.82	37.66
Curva N° 8	Punto N° 1	47.63	37.19	46.2	35.19
	Punto N° 2	46.56	31.22	45.71	33.48
	Punto N° 3	46.39	31.78	45.61	34.77
	Punto N° 4	50.73	38.32	50.96	34.71
Curva N° 9	Punto N° 1	47.17	34.12	46.78	35.38
	Punto N° 2	45.74	33.13	45.71	35.6
	Punto N° 3	49.92	37.34	48.2	35.31
Recta		92.42	56.06	83.15	53.13

Fuente: Propia

4.4.3 Resultados

El comportamiento de los vehículos en las curvas horizontales sucesivas de los dos tramos son velocidades que son mayores a la de diseño estas varían de acuerdo al radio de curvatura pendiente visibilidad y la longitud de la curva teniendo en cada curva estudiado diferentes velocidades, al ingresar a la curva entra a una velocidad y a medida que va recorriendo de acuerdo a la visibilidad y el radio de curvatura el conductor reduce o aumenta la velocidad no manteniendo constante durante el desarrollo de la curva la mayor incidencia que incurren los conductores son con vehículos livianos, medianos y pesados sin carga, los vehículos pesados no pasan la velocidad de diseño esto se debe a que los dos tramos estudiados sus topografía son montañosas y escarpada y los radios de curvatura no son amplios para la longitud de dichos vehículos ya que estos requieren mayor espacio y dicho diseño está para un vehículo modelo que es de 6m con esto se observa que las velocidades máximas y mínimas presentadas en cada tramo están por el doble de la de diseño

Todos los gráficos de las curvas aforados en cada tramo ver en anexos

Cuadro N° 28: Las máximas y mínimas velocidades de todo el tramo Padcaya – La Mamora

Descripción	Curva	Velocidad de Operación Vo (km/h)					
		Liviano - Mediano		Pesado		Δ Promedio	
		Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
Padcaya - La Mamora	N°1	52.62	47.8	29.44	21.93	43.45	35.40
La Mamora - Padcaya		54.64	47.98	27.76	20.19	42.38	34.73
Padcaya - La Mamora	N°2	52.09	46.66	29.44	24.31	43.45	40.57
La Mamora - Padcaya		52.97	47.07	30.60	26.18	41.53	37.23
Padcaya - La Mamora	N°3	52.57	47.67	37.02	26.28	43.47	37.17
La Mamora - Padcaya		53.00	48.29	36.69	26.74	43.05	38.34
Padcaya - La Mamora	N°4	54.74	45.23	32.99	25.59	42.52	36.71
La Mamora - Padcaya		51.98	47.63	31.68	27.16	41.75	37.57
Padcaya - La Mamora	N°5	57.89	46.33	36.28	18.39	46.96	36.15
La Mamora - Padcaya		51.01	47.76	28.76	24.13	39.09	35.95
Padcaya - La Mamora	N°6	54.30	47.40	26.38	23.33	40.34	34.86
La Mamora - Padcaya		50.76	47.04	30.66	24.73	40.21	36.13
Padcaya - La Mamora	N°7	55.48	48.18	34.66	24.46	44.8	36.32
La Mamora - Padcaya		52.68	46.79	28.91	27.32	40.7	24.06
Padcaya - La Mamora	Recta	110.38	95.3	55.16	49.54	88.77	72.44
La Mamora - Padcaya		139.45	101.91	52.24	47.67	95.85	84.75

Fuente: Elaboración Propia

La máxima velocidad presentada de los vehículos livianos está en la curva 5 de todas las curvas en estudio donde el su radio de curvatura $R_c > 100m$ la longitud de cuerda

es amplia que ingresando de una pendiente negativa hace que vehículo no requiere mucho esfuerzo a medida que se va acercando a la siguiente curva esta disminuyen la velocidad, los radios de curvatura son menores o sus pendientes son positivas

La mínima velocidad está en la curva 4 la longitud de cuerda es de 61.765m no dándole lugar al vehículo para que la velocidad de operación sea mayor

Los vehículos pesados mantienen su velocidad constante en casi todas las curvas en estudio

En la recta la velocidad de operación es el doble de la de proyecto a esta velocidad los vehículos livianos, necesitan un mayor espacio de distancia de frenado y visibilidad siendo que en dicha carretera a esta velocidad hubo muchos accidentes ya que tiene pueblitos sobre la carretera y transitan animales con esta velocidad máxima presentada en la recta no le da tiempo para que el conductor reaccione ante cualquier obstáculo que se le presente siendo la topografía accidentada con pendientes ascendentes y descendentes no menores a 100m existe un cambio de pendiente

Cuadro N°29: Las máximas y mínimas velocidades de todo el tramo San Lorenzo – Falda La Queñua

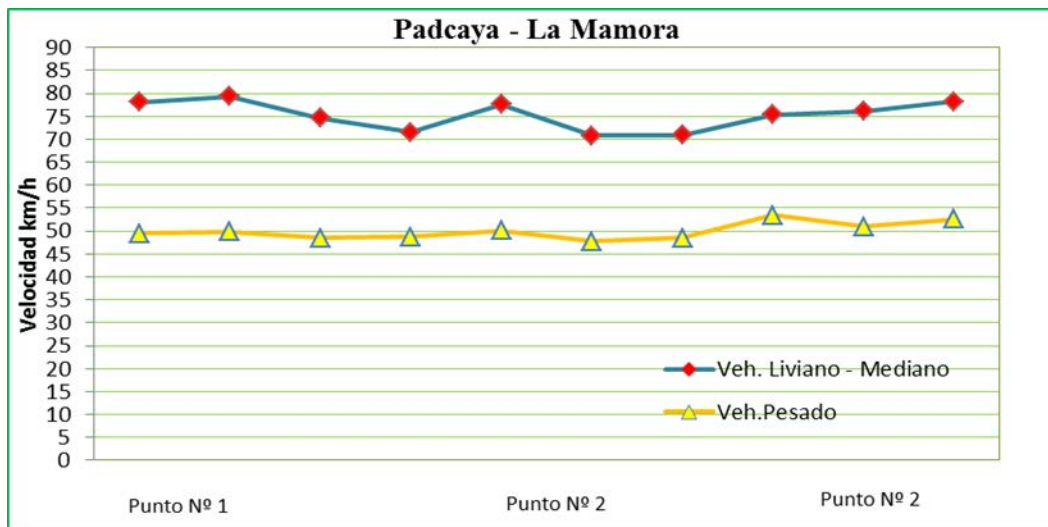
Descripcion	Curva	Velocidad de Operación Vo (km/h)					
		Liviano - Mediano		Pesado		Δ Promedio	
		Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 1	51.33	47.56	31.4	24.42	41.36	35.46
Falda la Queñua - San lorenzo		51.64	46.83	32.655	20.20	41.94	32.94
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 2	49.99	41.14	27.90	21.88	38.94	32.53
Falda la Queñua - San lorenzo		52.20	41.22	26.30	20.01	36.77	33.51
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 3	48.98	43.70	23.57	20.46	35.23	32.84
Falda la Queñua - San lorenzo		50.35	44.58	25.79	18.98	37.74	32.15
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 4	44.37	36.90	23.66	18.03	33.14	27.68
Falda la Queñua - San lorenzo		45.68	39.15	21.51	12.58	32.16	28.50
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 5	48.97	41.12	34.10	28.60	40.46	34.86
Falda la Queñua - San lorenzo		52.67	48.98	34.90	26.36	42.25	38.30
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 6	49.57	43.41	32.46	23.01	40.18	35.30
Falda la Queñua - San lorenzo		51.25	45.13	30.27	22.33	38.95	36.29
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 7	49.25	41.28	36.58	20.48	42.58	32.18
Falda la Queñua - San lorenzo		51.39	47.32	38.77	23.56	44.86	36.46
San lorenzo - falda la Queñua	Nº 8	51.26	45.69	38.97	30.13	45.12	38.46
Falda la Queñua - San lorenzo		51.47	45.01	36.12	32.07	43.16	39.95
San lorenzo - falda la Queñua	Nº9	50.80	45.01	39.65	30.28	34.96	32.62
Falda la Queñua - San lorenzo		49.88	44.57	38.13	33.39	42.96	39.50
San lorenzo - falda la Queñua	Recta	99.15	85.70	60.21	53.37	78.89	77.01
Falda la Queñua - San lorenzo		86.49	79.60	56.99	50.49	70.14	66.28

Fuente: Elaboración Propia

En este tramo su velocidad va de acorde a la topografía siendo montañosa y con pendiente negativas altas la velocidad máxima en los vehículos livianos 52.67km/h esto se debe a que es el radio más grande en todo las curvas y la pendiente es de 3.27% llano el lugar de la curva para salir hacia la recta ir subiendo su velocidad La mínima velocidad está en la curva 4 ya que dicha curva tiene dos radios menores a 100m lo que le hace que reduzca la velocidad

4.5 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO EN LAS CURVAS SUCESIVAS

Cuadro N°30: Grafica de velocidad tramo Padcaya – La Mamora



Fuente: Elaboración Propia

Las velocidades en la graficas varían de cada día no son iguales en un solo punto, en esta grafica está representada por las velocidades promedio de acuerdo a cada hora que pertenece a dicho punto de aforo

La velocidad es mayor en los livianos con respecto a los vehículos pesados esto se debe a que los livianos son de menor tamaño más fáciles de realizar una maniobra frente a un obstáculo cuando los peraltes no son muy altos hace que el vehículo al entrar a una curva tienda al vuelco o salirse del carril y provocar accidentes mientras que los pesados sus velocidades van de acuerdo a los ejes que tiene si más grande es vehículo menor su velocidad en curvas

La variación de la velocidad en los vehículos livianos siendo la máxima en el punto 2 en la tangente de salida con una distancia de visibilidad clara así el arco de la espiral de salida donde disminuye la velocidad al ingresar al arco

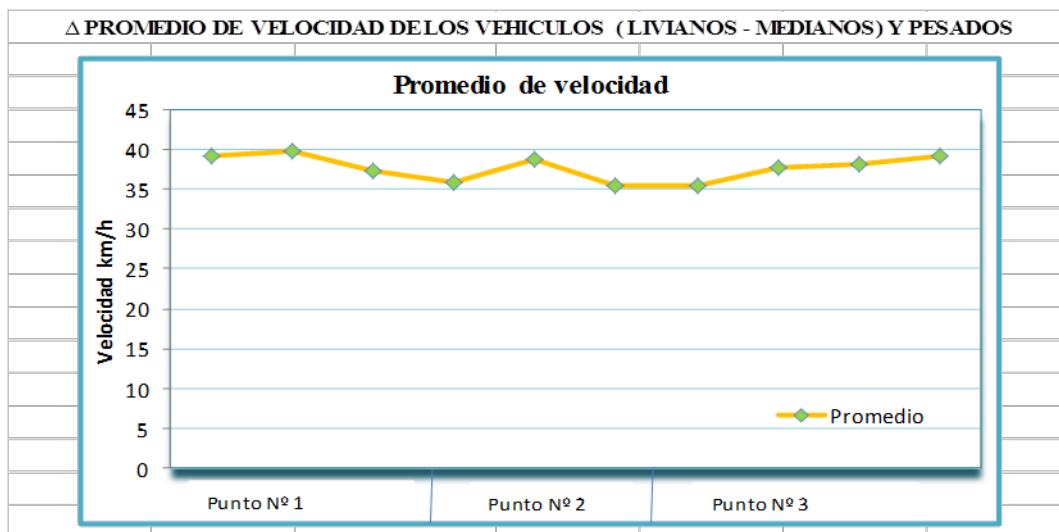
La velocidad mínima está en el punto 2 en la espiral de ingreso a la curva ya que el conductor reduce no teniendo una visibilidad clara antes de llegar a la transición en común de las dos curvas

La velocidad promedio de los vehículos livianos es de 50.99 km/h con una tendencia a variar por debajo o por encima de 3.72 km/h de los vehículos esta variación es también de acuerdo al conductor mientras más joven es mayor velocidad aumenta

Los pesados su velocidad promedio es de 25.34 km/h siendo menor a la de diseño esto se debe a que la mayoría de los vehículos pesados estaban cargados la tendencia a variar por debajo o encima de dichas velocidades es de 2.57 km/h no siendo muy influyente en la variación de velocidad

La teoría de curvas horizontales nos dice que la velocidad es constante a lo largo de toda la curva, en el estudio realizado y el grafico se observa que no es constante varía de acuerdo al radio de curvatura de cada curva ángulo de deflexión y la longitud de cuerda de la curva, cuando estos parámetros son más grandes aumenta la velocidad

Cuadro N°31: Grafica de velocidad promedio tramo Padcaya – La Mamora



Fuente: Elaboración Propia

El promedio entre los dos tipos de vehículos está en el punto de la transición común de dos curvas sus radios de curvatura son mayor a ingresar a la arco siguiente esto hace que aumente la velocidad

La velocidad mínima es en el punto de transición de las curvas donde al entrar a la curva no tiene el conductor una visibilidad clara y la curva siguiente

Velocidad promedio de los dos tipos de vehículos es de 38.16 km/h con una tendencia a variar por debajo o encima de 2.32 km/h, como las desviación estándar son formulas estadísticas la ocurrencia de pase no influiría en la velocidad que asuma el conductor.

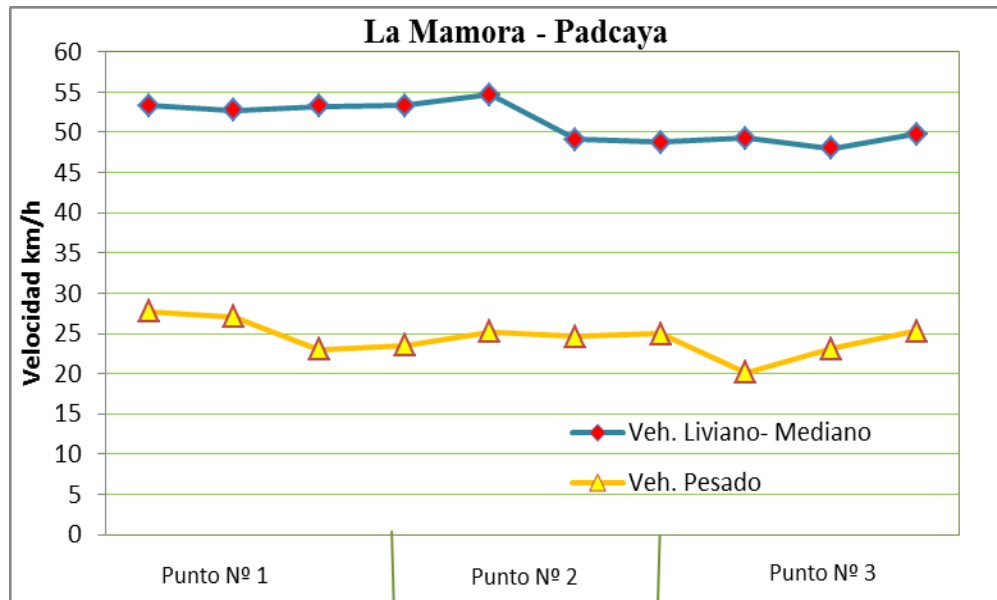
Cuadro N° 32: Velocidad promedio de la curva N° 1 para la grafica

Descripcion	Velocidad km/h		
	Liviano - Mediano	Pesado	Δ Promedio
Punto N° 1	49.54	28.58	39.06
	49.88	29.44	39.66
	48.43	26.25	37.34
	48.69	22.82	35.76
Punto N°2	50.11	27.55	38.83
	47.80	23.00	35.40
	48.54	22.37	35.46
Punto N° 3	53.41	21.93	37.67
	51.03	25.11	38.07
	52.62	25.65	39.14

Fuente: Elaboración Propia

La velocidad promedio tabulada es de todo los días aforados en un mismo horario, la velocidad varía de un día a otro, mucho influye el clima estado del conductor ya que teniendo como referencia un mismo vehículo no va pasar a la misma velocidad al día siguiente

Cuadro N°33: Grafica de velocidad tramo La Mamora - Padcaya

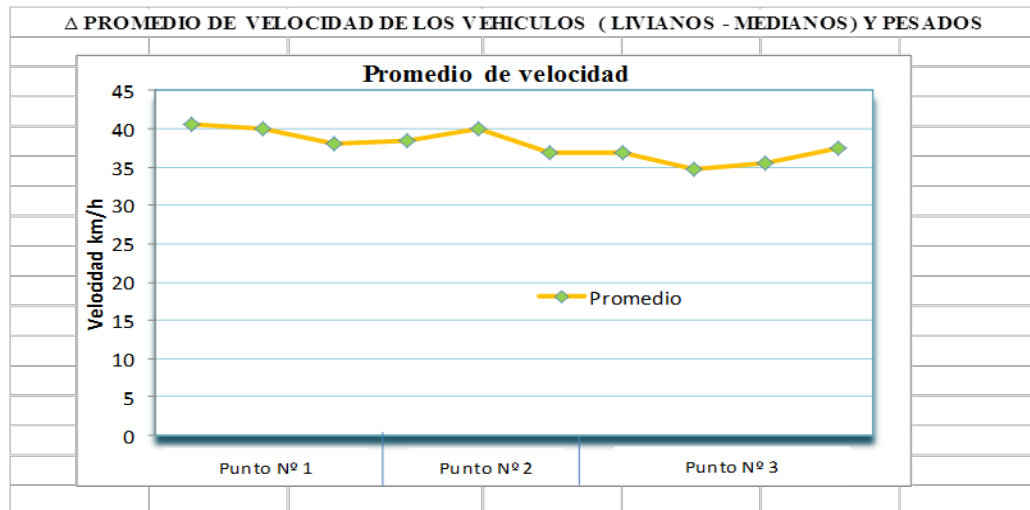


Fuente: Elaboración Propia

La velocidad máxima presenta en el perfil se observa que está en la transición común de las dos curvas ya que a esa velocidad es con la cual llega al arco de la espiral de salida esto se debe a que al salir del arco el radio de curvatura es lo suficiente para que los vehículos livianos pasen a esas velocidades haciendo un sobre paso de carril pero como son livianos con más facilidad regresan a su carril

Los vehículos pesados en el perfil de velocidad se observa que va a menor velocidad que los livianos y menor velocidad que la de diseño esto se debe a que como van con carga requieren mayor y su velocidad casi lo mantiene constante en todo el desarrollo de la curva mientras menor es el radio de curvatura menor velocidad de operación de los pesados

Cuadro N°34: Grafica de velocidad promedio tramo La Mamora - Padcaya



Fuente: Elaboración Propia

La velocidad promedio de los dos vehículos está en el punto de ingreso donde es la mayor en los vehículos livianos esto hace que sea la mayor en el mismo punto teniendo un promedio de 42.38km/h superando a la de diseño con esta velocidad los vehículos livianos y pesados tienen seguridad y comodidad los conductores para continuar en dicha curva

La velocidad promedio 38.28 km/h esta puede ser superado o estar por debajo 2.28km/h es una probabilidad de ocurrencia

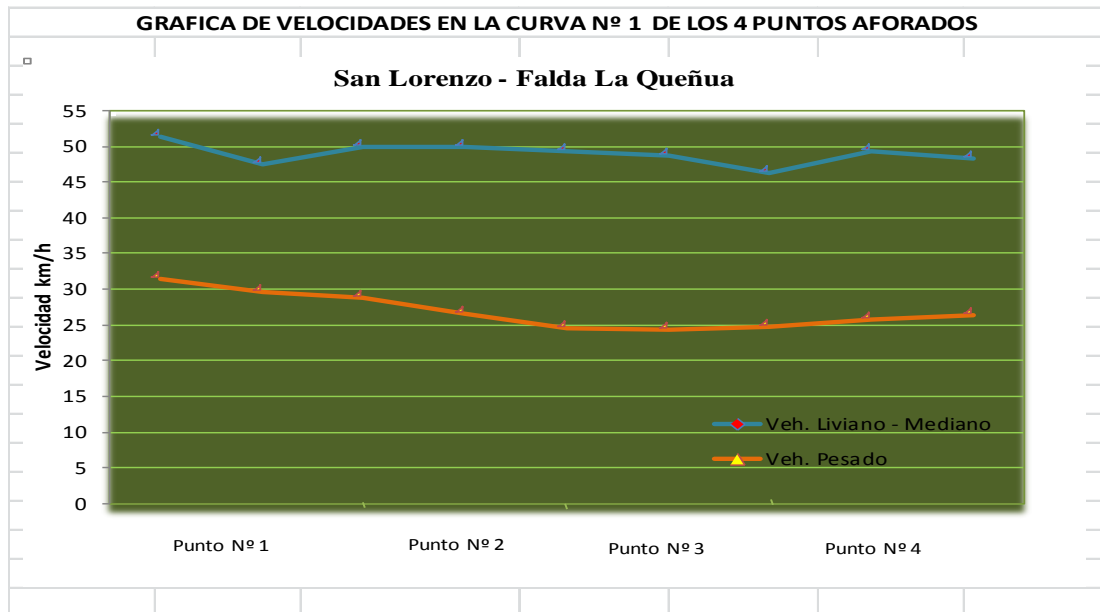
Cuadro N°35: Velocidad promedio de la curva N° 1 para la grafica

Descripcion	Velocidad km/h		
	Liviano - Mediano	Pesado	Δ Promedio
Punto N° 1	53.31	27.76	40.54
	52.77	27.09	39.93
	53.24	23.03	38.14
	53.32	23.56	38.44
Punto N°2	54.64	25.25	39.95
	49.10	24.66	36.88
	48.73	24.99	36.86
Punto N° 3	49.27	20.19	34.73
	47.98	23.14	35.56
	49.79	25.31	37.55

Fuente: Elaboración Propia

Esta velocidad promedio es casi igual carril de subida donde en el mismo punto se tiene la velocidad máxima los vehículos pesados mantienen una velocidad constante durante todo el desarrollo de la curva las varianzas es que unos van con carga y otros vacíos ya que estos tienden a aumentar su velocidad

Cuadro N°36: Grafica de velocidad tramo San Lorenzo – Falda La Queñua



Fuente: Elaboración Propia

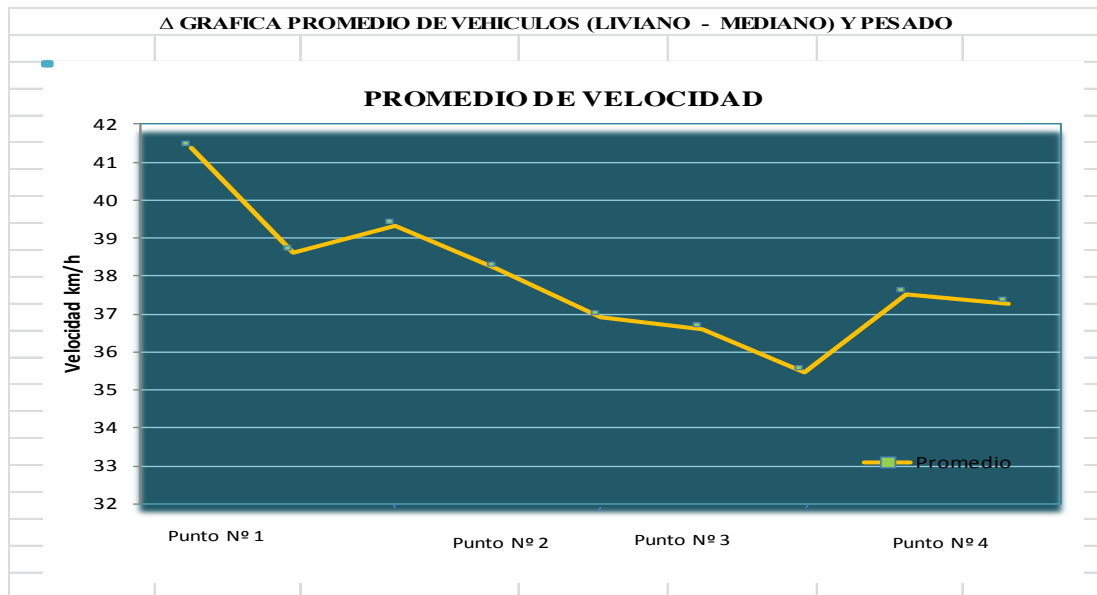
La velocidad en los vehículos livianos es mayor con respecto a los pesados se debe a que los livianos son de menor longitud haciéndose más fáciles de realizar maniobras y de entrar o salir del carril en sentido contrario ya que un vehículo pesado su longitud es mayor requiriendo un radio de curvatura mayor para que no se provoque un vuelco al exterior de la curva donde el mayor peso lo lleva en parte de atrás van cargados.

La velocidad máxima de los livianos se está al ingreso de la curva donde viniendo de una recta hace que el conductor no reduzca la velocidad teniendo un radio de curvatura apto para que pase a esa velocidad, va recorriendo la curva reduce la velocidad manteniéndole casi constante

La variación de la velocidad mínima esta antes de salir de la curva tener una pendiente de -8% lo que el conductor reduce la velocidad y no teniendo la visibilidad suficiente para ver la curva siguiente hace que se presente en este, donde al estar en la mitad de la curva ve que tiene una recta imprime otra velocidad.

Los vehículos pesados la máxima velocidad al ingresar a la curva, por tener el radio de curvatura de acorde a la velocidad de operación en forma que va circulando reducen la velocidad y lo mantiene constante hasta salir de la curva

Cuadro N°37: Grafica de velocidad promedio tramo San Lorenzo – Falda La Queñua



Fuente: Elaboración Propia

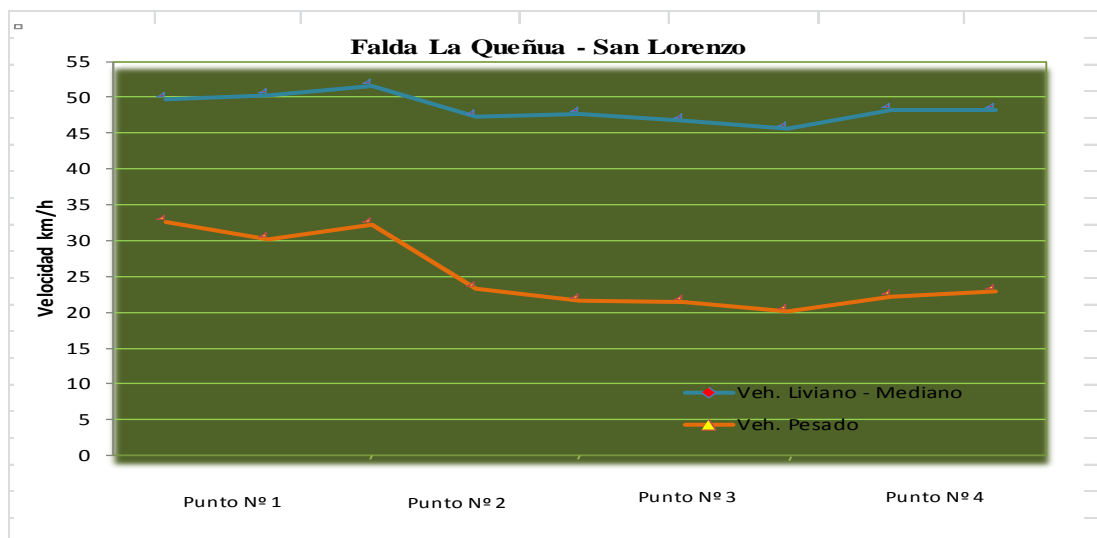
El promedio de velocidad va ser de acuerdo a los tipos de vehículos mientras más alejado sea sus velocidades más se acercara los livianos y a mayor radio de curvatura aumenta la velocidad la varianza que existe en la máxima y mínima velocidad está en un 5.1km/h como puede aumentar o disminuir con el transcurso del tiempo existe la probabilidad no sobre pasando la velocidad de diseño siendo la máxima velocidad la ideal para el diseño de la curvas

Cuadro N°38: Velocidad promedio de la curva N° 1 para la grafica

Descripcion	Velocidad km/h		
	Liviano - Mediano	Pesado	Δ Promedio
Punto N°1	51.33	31.40	41.36
	47.56	29.65	38.61
	49.83	28.79	39.31
Punto N°2	49.85	26.52	38.19
	49.24	24.57	36.90
Punto N°3	48.73	24.42	36.58
	46.24	24.68	35.46
Punto N°4	49.33	25.73	37.53
	48.21	26.35	37.28

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°39: Grafica de velocidad tramo Falda La Queñua - San Lorenzo



Fuente: Elaboración Propia

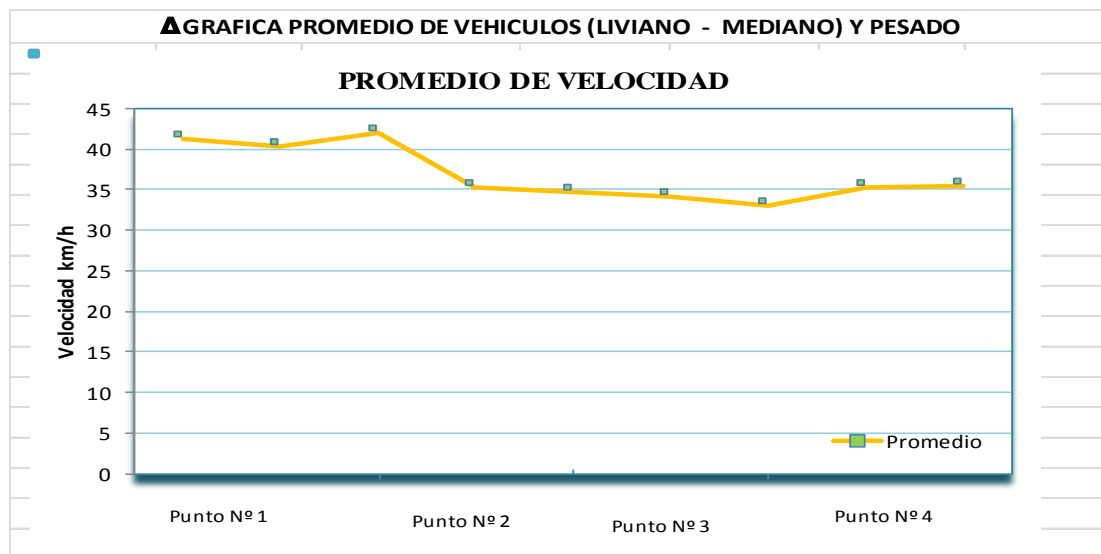
La máxima velocidad está en el punto 1 debido a que entra de una recta el conductor por comodidad no reduce la velocidad cuando va circulando al tener un radio mínimo tiene que reducir la velocidad manteniéndole constante hasta la salida de la curva presentándose la mínima velocidad en el punto 3 ya el punto de salida el conductor ve una recta a la mitad de la curva comienza a subir la velocidad

En los pesados su velocidad es mayor al ingreso hacen un cambio de velocidad brusca por el radio de curvatura es el suficiente para que los pesados tengan velocidades altas y como van cargados esto hace que los camiones requieren mayor potencia para vencer las pendientes ya que reduce su velocidad para mantenerla constante hasta la salida

Los radios de curvatura en la curva 1son menores a 100m lo que hace que los camiones tengan velocidades que no supera la de diseño solo los camiones que van con carga o los que tiene remolque estos requieren mayor radio una longitud de desarrollo de la curva mayores a 100m

Los camiones vacíos estos superan la de proyecto y tiende a tener una velocidad lo doble de los que llevan carga

Cuadro N°40: Grafica de velocidad tramo Falda La Queñua - San Lorenzo



Fuente: elaboración propia

La velocidad promedio de los dos vehículos es casi constante siendo la velocidad máxima la ideal para diseño donde los conductores se sientan cómodos ya que cuando van a velocidades muy bajas estos se cansan, lo cual hace que el conductor supere la velocidad de diseño sin importarle si provoca accidente

Cuadro N°41: Velocidad promedio de la curva N° 1 para la grafica

Descripción	Velocidad km/h		
	Liviano - Mediano	Pesado	ΔPromedio
Punto N°1	49.81	32.66	41.23
	50.36	30.26	40.31
	51.64	32.24	41.94
Punto N°2	47.24	23.22	35.23
	47.69	21.57	34.63
Punto N°3	46.83	21.42	34.12
	45.69	20.20	32.94
Punto N°4	48.29	22.11	35.20
	48.23	22.86	35.55

Fuente: elaboración propia

4.5.1 Análisis de los perfiles de velocidad de los dos tramos

Para analizar el comportamiento de los perfiles de velocidad se estimó para cada punto el valor de la velocidad.

Al analizar de manera conjunta el comportamiento de los perfiles de velocidad se aprecia que la diferencia de velocidades a lo largo del perfil es debido a que el conductor percibe la curva y adopta su velocidad, el tipo de curva estudiado no es lo suficiente para que el conductor modifique sustancialmente su velocidad en el interior de la curva por lo cual tiende a deslizarse a las velocidades obtenidas. Mediante el estudio realizado obliga a una revisión de la teoría del comportamiento de la velocidad de operación respecto al radio de curvatura ya que no es la mínima velocidad en el arco de la espiral si no de acorde a la tangente de entrada mayor longitud de la tangente de entrada mayor velocidad al ingresar a arco de la espiral.

Para reducir la velocidad en los vehículos livianos colocar señalización horizontal en cada curva lo cual le llame la atención al conductor diciendo curva peligrosa los conductores automáticamente reduce la velocidad mientras que con la señalización actual los conductores no cumplen y en rectas especificar con una mayor señalización

lo que tiene en alrededor de dicha carretera por que la mayoría de los accidentes en la carretera Padcaya fue por exceso de velocidad y en rectas accidentes fatales

4.5.1 Valoración

El comportamiento de la velocidad en curvas horizontales sucesivas no es constante en todo el desarrollo de la curva por lo tanto no se cumple la teoría antes estudiado las curvas horizontales en el tramo Padcaya la Mamora sus radios de curvatura son $R > 100m$ y teniendo pendiente ascendentes y descendentes fuertes donde la velocidad es mayor que la del tramo Falda la Queñua, la velocidad actual de operación en curvas horizontales sucesivas mediante el estudio realizado se sacó como parámetro de 50km/h donde el 70% de los vehículos livianos van a esa velocidad y el 30% puede ser superada o no con dicha velocidad las curvas estudiadas de los dos tramos no están diseñadas para esa velocidad por lo tanto con esta velocidad las curvas requieren un mayor peralte y sobreancho.

Con estas velocidades se plantea la necesidad de que la velocidad de diseño en curvas horizontales sucesivas sea de 50km/h la velocidad de operación es mayor por lo que se propone un nuevo dimensionamiento de un modelo de curva “ver anexos el diseño”

Cuadro N°42: Curva modelo de Padcaya – La Mamora

CURVA SUCESIVA SIMPLE N°1						
Descripción	Progresiva	Radio	Velocidad de	Pendiente(%)	Peralte (%)	Sobreancho
		(m)	diseño Vd (km/h)	i	e	San (m)
15A	4+033,172	146,54	50	-5.0179	7,55	0,54
16A	4+656,411	152,010		4,4	7,27	0,52

Fuente: elaboración propia

Se realizó con las formula empíricas de diferentes autores la velocidad percentil, como es una formula empírica se depuro al percentil más alegado $V_{85} = 74.13$ km/h donde no superan la velocidad percentil, lo cual la velocidad de operación es aceptable, si supera a la de diseño siendo el doble esto hace que el vehículo tienda a volcarse así el exterior de la curva o invada carril ya que las normas viales en curva es

próvido realizar un sobre paso de carril no teniendo la visibilidad suficiente ante la curva precedente

Los vehículos pesados no supera al percentil ni la velocidad de diseño lo cual es por la carga que llevan los radios de curvatura no son los adecuados para los camiones con remolque aprovechando el sobre ancho para entrar a la otra curva cuando estos superan la velocidad de diseño

Las formula a utilizar son las siguientes de acuerdo al autor y el parámetro que emplea para su uso es la pendiente en una formula

$$\text{Taragin "1954"} \quad V_{85} = 88.87 - \frac{2554.76}{R} \quad \text{Ec. 52}$$

$$\text{Glennon et al. "1986"} \quad V_{85} = 103.96 - \frac{4524.94}{R} \quad \text{Ec. 53}$$

$$\text{Lamm y Choueiri "1986"} \quad V_{85} = 94.39 - \frac{3189.94}{R} \quad \text{Ec. 54}$$

$$\text{Lamm et al. "1988"} \quad V_{85} = 94.398 - \frac{3188.656}{R} \quad \text{Ec. 55}$$

$$\text{Fitzpatrick et al. "1996"} \quad V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R} \quad \text{Ec. 56}$$

$$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R} \quad \text{Ec. 57}$$

$$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R} \quad \text{Ec. 58}$$

Dónde:

V_{85} = Velocidad percentil (km/h)

R = Radio de curvatura a la mitad de la curva (m)

G = Pendiente de la curva % (parámetro para el uso de la formula)

En el cuadro siguiente se muestra cómo va variando cada fórmula de acuerdo al radio de curvatura y pendiente mayor radio el percentil es mayor y si la pendiente es mayor su percentil es menor

Cuadro N° 43: Velocidad Percentil Padcaya- La Mamora

Curva	Condicion	Formula	Radio m	Velocidad Percentil V85 km/h
Punto N° 1	No requiere	Taragin	152.01	72.06
		Glennon et al.		74.19
		Lamm Y Choueiri		73.40
		Lamm et al		73.42
	$4\% \leq G < 9\%$	Fitpatrick et at.		78.50
Punto N° 2	No requiere	Taragin	160	72.90
		Glennon et al.		75.68
		Lamm Y Choueiri		74.45
		Lamm et al		74.47
	$-4\% \leq G < 0\%$	Fitpatrick et at.		82.79
Punto N° 3	No requiere	Taragin	200	76.10
		Glennon et al.		81.34
		Lamm Y Choueiri		78.44
		Lamm et al		78.45
Punto N° 4	No requiere	Taragin	106	64.77
		Glennon et al.		61.27
		Lamm Y Choueiri		64.30
		Lamm et al		64.32
	$4\% \leq G < 9\%$	Fitpatrick et at.		70.57
Punto N° 5	No requiere	Taragin	120	67.58
		Glennon et al.		66.25
		Lamm Y Choueiri		67.81
		Lamm et al		67.83
	$0\% \leq G < 4\%$			75.03
Punto N° 6	No requiere	Taragin	78.47	56.31
		Glennon et al.		46.30
		Lamm Y Choueiri		53.74
		Lamm et al		53.76
	$-4\% \leq G < 0\%$	Fitpatrick et at.		58.71
Punto N° 7	No requiere	Taragin	80	56.94
		Glennon et al.		47.40
		Lamm Y Choueiri		54.52
		Lamm et al		54.54

Fuente: Elaboración Propia

El tramo San Lorenzo – Falda La Queñua el percentil 58.81km/h mayor está en la curva 5 la velocidad de los vehículos livianos 56.67km/h no superando al percentil si siendo mayor que la diseño donde sus radios de curvatura $R < 100m$ esto hace que las

velocidades en dicho tramo no sean tan altas las pendientes son fuertes por ser una zona montañosa y

Los vehículos pesados sus velocidades mayores no son superados a la de diseño que están entre al rango de 27 -18 km/h esto se debe a que la mayoría de los vehículos van con carga y al tener fuertes pendiente hace que requiere mayor potencia.

El percentil no toma en cuenta estas características de cómo se comporta cada vehículo por eso las velocidades son altas, lo que este análisis solo será con los livianos que siempre están superando con la mitad a la de proyecto

Cuadro N° 44: Velocidad Percentil Padcaya- La Mamora

Curva	Condicion	Autor	Radio m	Velocidad Percentil V85 km/h
Curva N° 1	No Requiere	Taragin	55	42.42
		Glennon et al.		21.69
		Lamm Y Choueiri		36.39
		Lamm et al		36.42
Curva N° 2	No	Taragin	50	37.77
		Glennon et al.		13.46
		Lamm Y Choueiri		30.59
		Lamm et al		30.62
Curva N° 3	No	Taragin	72	53.39
		Glennon et al.		41.11
		Lamm Y Choueiri		50.09
		Lamm et al		50.11
Curva N° 4	No	Taragin	70	52.37
		Glennon et al.		39.32
		Lamm Y Choueiri		48.82
		Lamm et al		48.85
Curva N°5	No	Taragin	85	58.81
		Glennon et al.		50.73
		Lamm Y Choueiri		56.86
		Lamm et al		56.88
Curva N°6	No	Taragin	51	38.78
		Glennon et al.		15.24
		Lamm Y Choueiri		31.84
		Lamm et al		31.88
Curva N°7	No	Taragin	76	55.25
		Glennon et al.		44.42
		Lamm Y Choueiri		52.42
		Lamm et al		52.44
Curva N°8	No	Taragin	60	46.29
		Glennon et al.		28.54
		Lamm Y Choueiri		41.22
		Lamm et al		41.25
Curva N°9	No	Taragin	65	49.57
		Glennon et al.		34.35
		Lamm Y Choueiri		45.31
		Lamm et al		45.34

Fuente: Elaboración Propia

Desviación estándar y velocidad promedio

La desviación estándar en tramo Padcaya es 5.68km/h en los vehículos pesados donde esta puede ser superado o por debajo 29.94km/h a la velocidad promedio

Con relación a los dos tramos la desviación estándar no supera el 10 esto quiere decir que los vehículos circulan casi a una misma velocidad en cada curva

Nota: ver en anexos la desviación para cada curva

Formula

$$Se^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Vi-Vo)^2}{n} \quad Ec.$$

Dónde:

Se = Desviación estándar

Vi = velocidad de operación inicial km/h

Vo = velocidad de operación promedio

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ El comportamiento de la velocidad de operación en curvas horizontales sucesivas en base a perfiles de velocidad. Estos perfiles describen la velocidad en arco de la espiral. Para ello se obtuvieron datos con el aforo de meto manual de 7 curvas en tramo Padcaya y 9 curvas en Falda la Queñua y una recta de 100m en cada tramo. Los resultados obtenidos permiten proponer las siguientes deducciones.
- ❖ la teoría actualmente usada no refleja adecuadamente el comportamiento de la velocidad. Esto se debe a que al realizar el diseño la velocidad lo toman constante durante toda la curva no siendo así la velocidad de operación es variable en toda la curva en la tangente de ingreso mantiene su velocidad hasta el arco de la espiral viendo la longitud tangente común muy pequeña reduce la velocidad entrando con esa velocidad al arco de la espiral de salida va aumentando en función a la longitud de tangente de salida
- ❖ Con la velocidad de diseño actual toda curva debe tener un sobreaño que se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral que va depender directamente del radio de curvatura con la que va estar diseñada cada curva horizontal
- ❖ Los resultados obtenidos en este trabajo tiene implicancias directas en el análisis de consistencia de curvas horizontales. Puesto que la consistencia se analiza en términos de la diferencia entre la velocidad de operación y la de diseño , el nivel de consistencia no sólo depende de la velocidad de operación en la mitad de la curva, sino que además depende de la relación entre la velocidad en la tangente de entrada y la velocidad en la mitad de la curva

- ❖ Se realizó un estudio de 7 curvas y una recta de 100m donde 5 curvas en S y dos compuestas sucesivas siendo las de menores radios de curvatura en el tramo Padcaya, realizando un aforo de velocidad por la norma AASTHO durante un mes 3 días a la semana y 3 horas al día, dividiendo en 15min para cada punto de aforo obteniendo un tiempo 0.9seg a 1.98seg en vehículos livianos pesados de 2.19seg a 5.12seg en estos varia si están cargados o vacíos
- ❖ El estudio realizado en el tramo Falda La Queñua fueron de 9 curvas 3 en S y 6 compuestas sucesivas donde el tiempo aforado esta 1.19seg a 2.45seg vehículos livianos ya que los pesados 3seg a 8seg viendo que el tipo de topografía en cada tramo es diferente teniendo montañosa y fuertemente escarpada esta hace que los tiempos varíen
- ❖ Las tablas de tabulación de velocidades se realizó en un mismo horario para sacar el promedio de cada punto de aforo en cada curva y ver en cada curva su velocidad máxima donde se presenta
- ❖ En las rectas las velocidades livianos 139.45km/h Padcaya donde la velocidad máxima de diseño es de 60km/h esta puede variar un 30% como máximo sobre pasando con más de la mitad donde en este tramo se produjeron accidentes por exceso de velocidad para dicha velocidad de operación el diseño debe ser modificado con pendientes menores a 1% tener un sobreancho de 1 a 1.5
- ❖ Las velocidades en livianos el tramo Falda La Queñua son superadas a la percentil o que hace que sea peligrosas estas velocidades ya que tienen radios menores a 100m
- ❖ Las curvas horizontales sucesivas no están diseñadas con las velocidades de operación en la que realmente circulan los vehículos para esto se propone verificar un sobre ancho ya sea exterior o interior en la curva

- ❖ Los conductores no tienen una educación vial lo cual les lleva a sobrepasar sus velocidades de operación a la de diseño no respetando la señalización existente en las carreteras
- ❖ Tener un mayor control policial a los conductores y que las multas por infringir las reglas de tránsito vial sean muy altas esto hará que los conductores no sobrepasen en más de 20km/h la velocidad de diseño.

5.2 RECOMENDACIÓN

- ❖ Para el aforo de vehículos livianos se debe aforar mediante el modelo ya que más nuevo es mayor velocidad emplea dicho vehículo esto nos hace variar las velocidades.
- ❖ Los pesados clasificarlos con carga y sin carga ya que sus velocidades son muy alejadas entre ambos del mismo tipo.
- ❖ Los puntos de aforo se debe realizar en la tangente de entrada, mitad del arco de la espiral y a en tangente de salida para tener una mejor evaluación del comportamiento de la velocidad en las curvas horizontales ya que dicho trabajo los puntos de aforo están en el arco de la espiral según la norma AASTHO.
- ❖ Las fórmulas de velocidad percentil son empíricas ya que su utilización debe ser con cuidado y tomar las que estén dentro de un solo valor ya que están en función al radio de curvatura estas varían porque cada autor toma parámetros diferentes.
- ❖ En la planilla de aforo se debe clasificar los vehículos en públicos y privados estos varían sus
- ❖ Para lo posterior realizar un aforo desde el comienzo de la espiral hasta el fin de la espiral ya que a mayor distancia para cronometrar mejor representatividad de los datos o velocidades que vamos tener.

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ El comportamiento de la velocidad de operación en curvas horizontales sucesivas en base a perfiles de velocidad. Estos perfiles describen la velocidad en arco de la espiral. Para ello se obtuvieron datos con el aforo de meto manual de 7 curvas en tramo Padcaya y 9 curvas en Falda la Queñua y una recta de 100m en cada tramo. Los resultados obtenidos permiten proponer las siguientes deducciones.
- ❖ la teoría actualmente usada no refleja adecuadamente el comportamiento de la velocidad. Esto se debe a que al realizar el diseño la velocidad lo toman constante durante toda la curva no siendo así la velocidad de operación es variable en toda la curva en la tangente de ingreso mantiene su velocidad hasta el arco de la espiral viendo la longitud tangente común muy pequeña reduce la velocidad entrando con esa velocidad al arco de la espiral de salida va aumentando en función a la longitud de tangente de salida
- ❖ Con la velocidad de diseño actual toda curva debe tener un sobreebanco que se desarrolla linealmente, en la longitud de la espiral que va depender directamente del radio de curvatura con la que va estar diseñada cada curva horizontal
- ❖ Los resultados obtenidos en este trabajo tiene implicancias directas en el análisis de consistencia de curvas horizontales. Puesto que la consistencia se analiza en términos de la diferencia entre la velocidad de operación y la de diseño , el nivel de consistencia no sólo depende de la velocidad de operación en la mitad de la curva, sino que además depende de la relación entre la velocidad en la tangente de entrada y la velocidad en la mitad de la curva

- ❖ Se realizó un estudio de 7 curvas y una recta de 100m donde 5 curvas en S y dos compuestas sucesivas siendo las de menores radios de curvatura en el tramo Padcaya, realizando un aforo de velocidad por la norma AASTHO durante un mes 3 días a la semana y 3 horas al día, dividiendo en 15min para cada punto de aforo obteniendo un tiempo 0.9seg a 1.98seg en vehículos livianos pesados de 2.19seg a 5.12seg en estos varia si están cargados o vacíos
- ❖ El estudio realizado en el tramo Falda La Queñua fueron de 9 curvas 3 en S y 6 compuestas sucesivas donde el tiempo aforado esta 1.19seg a 2.45seg vehículos livianos ya que los pesados 3seg a 8seg viendo que el tipo de topografía en cada tramo es diferente teniendo montañosa y fuertemente escarpada esta hace que los tiempos varíen
- ❖ Las tablas de tabulación de velocidades se realizó en un mismo horario para sacar el promedio de cada punto de aforo en cada curva y ver en cada curva su velocidad máxima donde se presenta
- ❖ En las rectas las velocidades livianos 139.45km/h Padcaya donde la velocidad máxima de diseño es de 60km/h esta puede variar un 30% como máximo sobre pasando con más de la mitad donde en este tramo se produjeron accidentes por exceso de velocidad para dicha velocidad de operación el diseño debe ser modificado con pendientes menores a 1% tener un sobreancho de 1 a 1.5
- ❖ Las velocidades en livianos el tramo Falda La Queñua son superadas a la percentil o que hace que sea peligrosas estas velocidades ya que tienen radios menores a 100m
- ❖ Las curvas horizontales sucesivas no están diseñadas con las velocidades de operación en la que realmente circulan los vehículos para esto se propone verificar un sobre ancho ya sea exterior o interior en la curva

- ❖ Los conductores no tienen una educación vial lo cual les lleva a sobrepasar sus velocidades de operación a la de diseño no respetando la señalización existente en las carreteras
- ❖ Tener un mayor control policial a los conductores y que las multas por infringir las reglas de tránsito vial sean muy altas esto hará que los conductores no sobrepasen en más de 20km/h la velocidad de diseño.

5.2 RECOMENDACIÓN

- ❖ Para el aforo de vehículos livianos se debe aforar mediante el modelo ya que más nuevo es mayor velocidad emplea dicho vehículo esto nos hace variar las velocidades.
- ❖ Los pesados clasificarlos con carga y sin carga ya que sus velocidades son muy alejadas entre ambos del mismo tipo.
- ❖ Los puntos de aforo se debe realizar en la tangente de entrada, mitad del arco de la espiral y a en tangente de salida para tener una mejor evaluación del comportamiento de la velocidad en las curvas horizontales ya que dicho trabajo los puntos de aforo están en el arco de la espiral según la norma AASTHO.
- ❖ Las fórmulas de velocidad percentil son empíricas ya que su utilización debe ser con cuidado y tomar las que estén dentro de un solo valor ya que están en función al radio de curvatura estas varían porque cada autor toma parámetros diferentes.
- ❖ En la planilla de aforo se debe clasificar los vehículos en públicos y privados estos varían sus
- ❖ Para lo posterior realizar un aforo desde el comienzo de la espiral hasta el fin de la espiral ya que a mayor distancia para cronometrar mejor representatividad de los datos o velocidades que vamos tener.