SERTET S.A.S Servicios de Ingeniería en Trazados Viales y Estudios Topográficos	**CONSTRUCCION DE UN PUENTE EN EL CORREGIMIENTO DE BONGA MELLA EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO, DEPARTAMENTO DE CORDOBA.**	**BUSERCO**

INFORME DISEÑO GEOMETRICO DE ACCESOS.



ENERO DE 2021

CONTROL DE REVISIONES		
REV	**FECHA**	**DESCRIPCIÓN**
1	(ENERO - 2021)	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN

CONTROL DE COPIAS	
No. Copias	Fisica/Digital
1	Fisica (Ejemplo)

Elaboró:	Revisó:	Aprobó:
MARCIO CANABAL PATERNINA	JAMILTON ECHEVERRI DIAZ	
		
INGENIERO CIVIL. ESP. M.P. 22202-272228 COR	INGENIERO CIVIL. ESP. M.P. 22202-269762 COR	

TABLA DE CONTENIDO

1 RESUMEN EJECUTIVO 6
2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO....7
3 CARACTERISTICAS ACTUALES DE VÍA....9
3.1 Clasificación de las carreteras 9
3.1.1 Según su funcionalidad....9
3.1.2 Según tipo de terreno 9
4 DISEÑO GEOMETRICO HORIZONTAL 10
4.1 Velocidad de diseño 10
4.2 Velocidad especifica de la curva horizontal....11
4.3 Coeficiente de fricción transversal máxima 11
4.4 Radio de curvatura mínimo (Rcmin) 12
4.5 Elementos calculados del alineamiento 13
4.6 Selección del peralte en función del radio seleccionado y la velocidad especifica. 14
4.7 Transición del peralte 15
4.8 Rampa de peralte. 15
4.9 Cálculo de la longitud de transición 16
4.10 Entretangencia Horizontal 18
4.10.1 Entretangencia mínima 18
4.10.2 Entretangencia máxima 18
4.11 Longitud mínima de la curva circular 18
5 DISEÑO GEOMETRICO VERTICAL....19
5.1 Tangente vertical 19
5.1.1 Pendiente mínima 19
5.1.2 Pendiente máxima 19
5.1.3 Longitud mínima 20
5.1.4 Longitud máxima....20
5.2 Curvas verticales 20
5.3 Descripción y cálculo de los elementos geométricos de la curva vertical 21
5.4 Determinación de la longitud de las curvas verticales 22
6 DISEÑO TRANSVERSAL....24
6.1 Ancho de calzada....24
6.2 Bombeo normal o inclinación transversal....24
6.3 Seccion transversal tipica de diseño. 25
7 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LA VÍA 26
7.1 Características propuestas de diseño geométrico de la vía....26
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....26

FIGURAS

Figura 1 Localización general del proyecto. 7
Figura 2 Localización específica del proyecto. 8
Figura 3 Rotación de los carriles respecto a su eje. 18
Figura 4 Tipos de curvas verticales cóncavas y convexas. 22
Figura 5 Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas. 22
Figura 6 Sección transversal típica diseñada. 25

TABLAS

Tabla 1 Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno (Ref. tabla 2.1. M.D.G. INVIAS). 11
Tabla 2 Coeficiente de fricción lateral máxima. 11
Tabla 3 Radios mínimos para peralte máximo e máx. = 6 % y fricción máxima. 12
Tabla 4 PR de localización del proyecto. 13
Tabla 5 Líneas tangentes con sus variables. 13
Tabla 6 Curvas Circulares con sus variables parte I. 13
Tabla 7 Curvas Circulares con sus variables parte II. 14
Tabla 8 Radios (Rc) según Velocidad Especifica (Vch) y Peraltes (e) para emax = 6%. 14
Tabla 9 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes máxima. 16
Tabla 10 Factor de ajuste para el número de carriles girados. 17
Tabla 11 Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos. 19
Tabla 12 Elección de la pendiente máxima de la vía en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo. 19
Tabla 13 Longitud mínima de tangente vertical. 20
Tabla 14 Valores de K mín. para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales (Ref. tabla 4.4. M.D.G. INVIAS). 21
Tabla 15 Acuerdos verticales cóncavos y convexos. 23
Tabla 16. Ancho de calzada en metros. 24
Tabla 17 Determinación del bombeo de la vía a diseñar. 24
Tabla 18. Características geométricas implementadas para el diseño. 26

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vista en planta con implantación de puente.....8
Ilustración 2 Desarrollo de peralte.....16

ANEXOS

ANEXO 1: CARTERAS DE LOCALIZACIÓN
ANEXO 2: CARTERAS DE CONTROL DE BORDES
ANEXO 3: CARTERAS DE VOLUMENES
ANEXO 4: PLANOS DE DISEÑO GEOMETRICO

1 RESUMEN EJECUTIVO

Para el desarrollo y mejoramiento de un municipio desde la infraestructura vial, es necesario diseñar tanto estructural como geométricamente las vías de un proyecto. Este informe se centra en el diseño geométrico horizontal, vertical y transversal de los accesos al puente. Es necesario aclarar que el insumo principal para el diseño geométrico de la vía es la topografía, el cual fue realizado por la presente consultoría. A continuación, se hace un breve resumen que describe en términos generales el contenido y los parámetros de diseño empleados.

En el **numeral 2** se realiza una descripción de la zona de influencia del proyecto, donde se describe la localización geográfica del proyecto ilustrando con imágenes satelitales de Google Earth la ubicación espacial de las vías a intervenir. Adicional en este apartado se realiza una descripción con la nomenclatura de la vía de estudio con su ancho y longitud.

En el **numeral 3,** se realiza una breve descripción de los parámetros de control para la caracterización de una vía para lo cual se tienen dos parámetros relevantes: caracterización en función del terreno, donde es de gran importancia el levantamiento topográfico para identificar las pendientes longitudinales y transversales de la vía y caracterización en función de la funcionalidad de la vía, donde se describe su uso para posteriormente definir una velocidad de diseño.

En el **numeral 4** se describen los parámetros horizontales que se tuvieron en cuenta para el diseño horizontal, donde se observan los elementos de cada curva, todo en función de las recomendaciones del manual de diseño geométrico del INVIAS, además se ofrecen los criterios para la selección de los elementos geométricos en planta.

En el **numeral 5** se realiza el diseño geométrico vertical, donde se calculan las pendientes mínimas, longitudes de las curvas y parámetro K (control de visibilidad de parada). Es necesario aclarar que el diseño geométrico vertical se ajusta según las recomendaciones del manual de diseño del INVIAS.

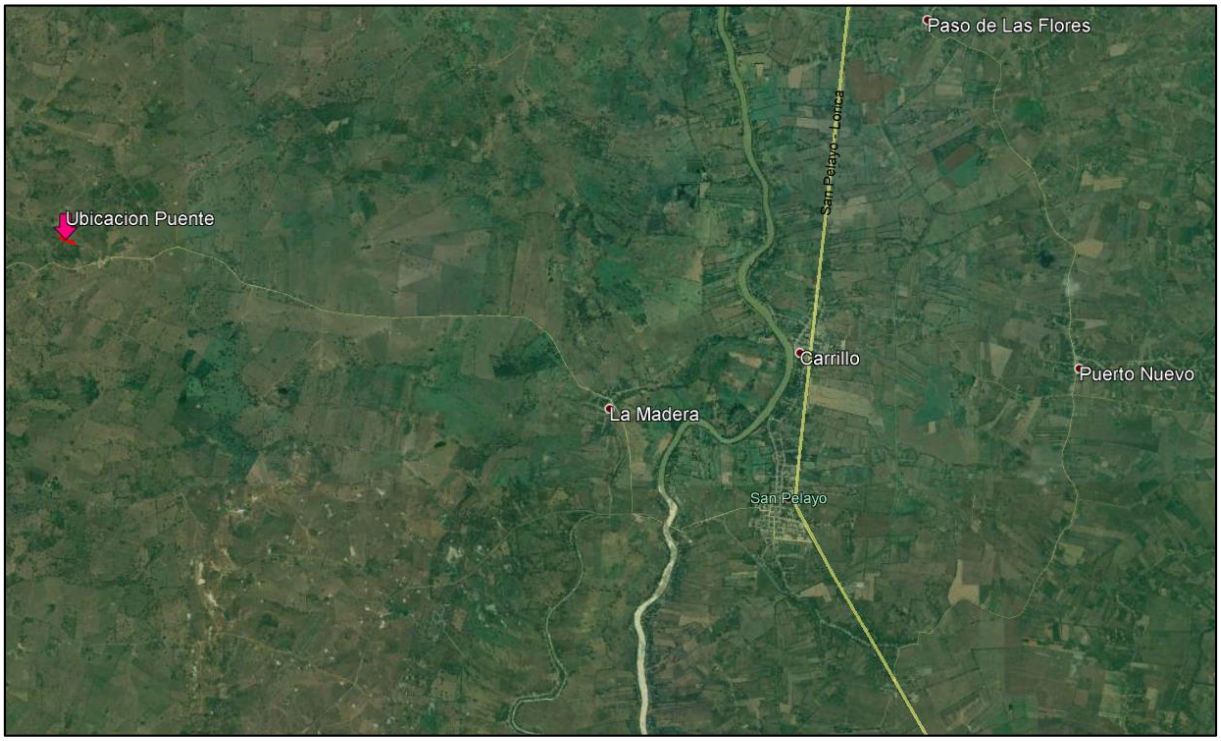
En el **numeral 6** se describen los principales elementos de la sección transversal como lo son el ancho y la inclinación transversal. En el **numeral 7 y 8** se aprecian las características de diseño de la vía las cuales deben estar relacionados para garantizar que la carretera sea funcional y opere de madera segura, adicional a eso se contemplan las memorias de cálculo de los elementos geométricos los cuales fueron verificados en el programa CIVIL3D 2020 el cual contiene las normas de diseño colombianas.

Por último, en **numeral 9** se consignan una serie de recomendaciones las cuales se deben respetar con el fin de garantizar un buen desarrollo de la geometría de la vía, también se consignan las conclusiones relacionadas con el tipo de diseño a emplear.

2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

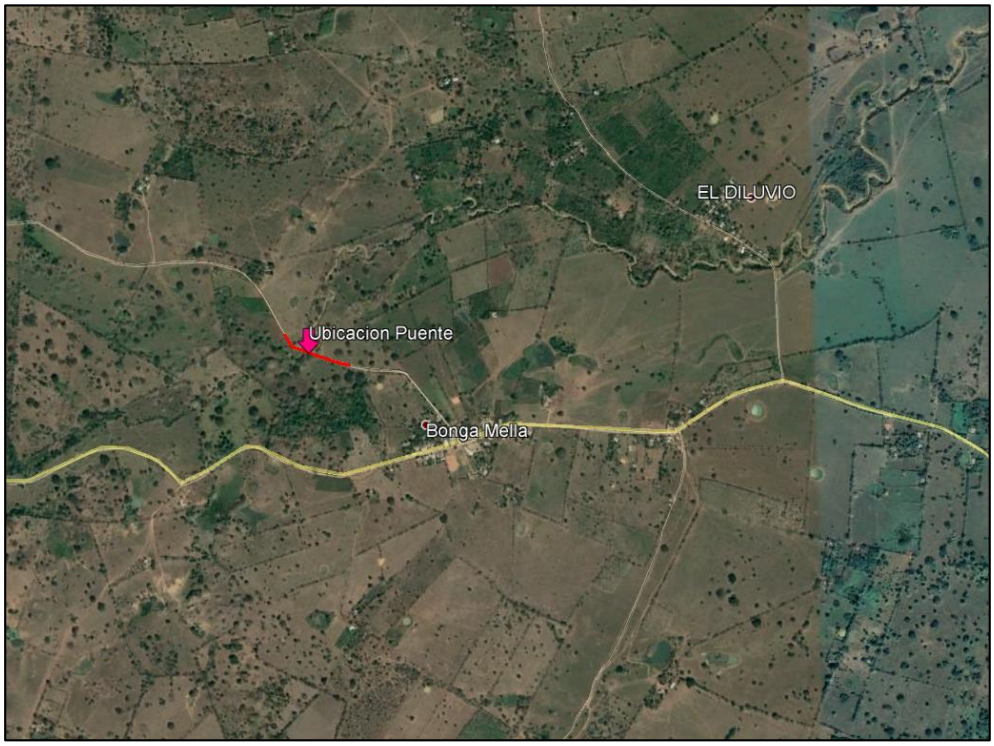
Bonga Mella es un corregimiento de San Pelayo, localizado en la región del departamento de Córdoba, Colombia. Limita por el norte con el municipio de Lorica, por el este con el municipio de Lorica, Chima, Ciénaga de Oro y Cereté, por el sur con el municipio de Cereté y Montería, y por el oeste con los municipios de Montería, Puerto Escondido y Lorica.

El proyecto en estudio se localiza en zona rural del municipio de San Pelayo, en el corregimiento de Bonga Mella, en las figuras **1** y **2**, se muestra una imagen general y especifica de la ubicación del proyecto en el municipio.

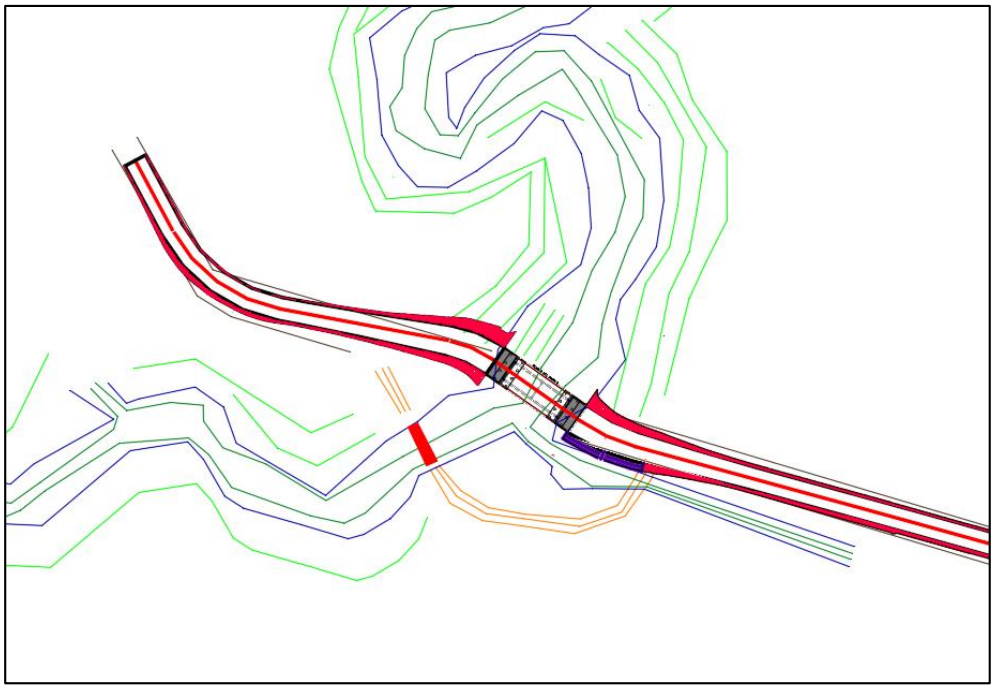


Fuente: Google Earth
Figura 1 Localización general del proyecto.

En la ilustración **1** se aprecia una vista en planta con el diseño geométrico horizontal de los accesos y la implantación del puente.



Fuente: Google Earth
Figura 2 Localización específica del proyecto.



Fuente: Anexo 4 plano de diseño geométrico.
Ilustración 1 Vista en planta con implantación de puente.

3 CARACTERISTICAS ACTUALES DE VÍA

Es necesario resaltar que en el manual de diseño geométrico de vías, el capítulo 7 (Diseño Geométrico de Casos Especiales, en el **numeral 7.1.2.1**) plantean algunos criterios de diseño, los cuales serán tenidos en cuenta en lo posible para determinar los parámetros de diseño de los accesos al puente vehicular; adicional dentro del manual de diseño geométrico para carreteras hay ciertos parámetros de diseño que pueden ser adaptados a las condiciones y necesidades del proyecto ya que los accesos al puente son el complemento de flujo vehicular y por lo tanto deben ser considerados como la prolongación o tramo de una vía; por lo tanto se establecen los parámetros de diseño según el M.D.G de INVIAS.

Para conocer las características actuales de la vía es necesario tener claro algunos conceptos que se presentan a continuación:

3.1 Clasificación de las carreteras

Teniendo en cuenta el manual de diseño geométrico de carreteras del instituto nacional de vías, las carreteras se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno.

3.1.1 Según su funcionalidad

- ***Primarias***

Son aquellas carreteras troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen una función básica de integración. Este tipo de carreteras generalmente son de doble calzadas.

- ***Secundarias***

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.

- ***Terciarias***

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

3.1.2 Según tipo de terreno

Plano

Son carreteras en donde sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento, y su pendiente transversal al eje de la vía es menor a 5 grados. Presenta un movimiento de tierra mínimo durante su construcción.

Ondulado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados (6° - 13°). Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento.

Montañoso

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados (13° - 40°). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento.

Escarpado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía generalmente superiores a cuarenta grados (40°). Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a ocho por ciento.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores podemos inferir que la vía de estudio cuenta con una topografía plana en algunos sectores debido a que las pendientes longitudinales y transversales que se presentan en la zona se encuentran entre 0.20 % y 3.0%, por lo cual los movimientos de tierra durante su construcción son mínimos, adicional a eso según su funcionalidad la carretera se considera terciaria o de tercer orden, ya que es una carretera que une corregimientos o vereda.

4 DISEÑO GEOMETRICO HORIZONTAL

4.1 Velocidad de diseño

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.

También se busca garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificarse a lo largo del corredor de ruta tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, se denomina velocidad de diseño del tramo homogéneo (Vtr), esta velocidad se determina con base al tipo del terreno y a la categoría de la vía. En la **tabla 1** se puede ver las velocidades de diseño en función de la categoría de la carretera y del tipo de terreno.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano							▨	▨	▨	▨
	Ondulado							▨	▨	▨	▨
	Montañoso						▨	▨	▨	▨	
	Escarpado						▨	▨	▨		
Primaria de una calzada	Plano							▨	▨	▨	
	Ondulado						▨	▨	▨	▨	
	Montañoso					▨	▨	▨	▨		
	Escarpado					▨	▨	▨			
Secundaria	Plano					▨	▨	▨			
	Ondulado				▨	▨	▨	▨			
	Montañoso			▨	▨	▨	▨				
	Escarpado			▨	▨	▨					
Terciaria	Plano			▨							
	Ondulado		▨	▨							
	Montañoso	▨	▨	▨							
	Escarpado	▨	▨								

Fuente: Tabla 2.1 M.D.G. INVIAS.

Tabla 1 Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno (Ref. tabla 2.1. M.D.G. INVIAS).

El corredor vial en estudio está constituido por un terreno plano para una vía de categoría terciaria de una calzada. Según la tabla anterior, la velocidad de diseño es **40 Km/h**, para este caso escogeremos una velocidad de diseño de **30 Km/h**, ya que corresponde al acceso a puente vehicular. En los casos puntuales donde no se cumpla con esta velocidad de diseño debido a la condición vertical de la vía se pondrán señales de tránsito que informaran al conductor a la velocidad que debe circular por dicha zona.

4.2 Velocidad especifica de la curva horizontal

Para asignar la velocidad específica (VCH) a las curvas horizontales incluidas en un tramo homogéneo, se considera como parámetro la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR) en que se encuentra la curva horizontal.

La velocidad específica de las curvas horizontales (VCH) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo (VCH ≥ VTR) ni superior a ésta en veinte Kilómetros por hora (VCH ≤ VTR + 20). Por lo tanto, la velocidad específica se encuentra entre 30 y 50 km/h.

4.3 Coeficiente de fricción transversal máxima

El coeficiente de fricción es un valor que depende de varios factores entre los cuales se encuentra el estado de rodadura, la velocidad del vehículo, el tipo de llantas de los vehículos etc. En la tabla se indican los valores del coeficiente de fricción indicados por los estudios de la AASHTO.

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA $f_{Tmáx}$	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente: Tabla 3.1 M.D.G. INVIAS.

Tabla 2 Coeficiente de fricción lateral máxima.

4.4 Radio de curvatura mínimo (Rcmin)

El radio mínimo (RC mín.) es el valor límite de curvatura para una velocidad específica (VCH) de acuerdo con el peralte máximo (e máx.) y el coeficiente de fricción transversal máxima (fT máx.) Ver **tabla 3**. El radio mínimo de curvatura será usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores; en carreteras terciarias es difícil disponer de entre tangencias que permitan realizar transiciones, adicional por condiciones de seguridad y por la geometría horizontal de la vía utilizamos un peralte máximo de **6.00%.** El cálculo se realiza por medio de la siguiente ecuación.

$$Rc = \frac{Vch^2}{127\ x\ (e + ft)}$$

$$e = \frac{Vch^2}{127\ x\ Rc} - ft$$

Donde:

Rc= Radio de la curva circular (m).
Vch = Velocidad especifica con que se diseña la curva (Km/h).
e= Peralte de la calzada en la curva (m/m).
ft = Coeficiente de fricción lateral.

VELOCIDAD ESPECIFICA (Km/h)	PERALTE MAXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL fmax	TOTAL, emax + fmax	RADIO MINIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	*6*	0.35	0.41	7.7	8.0
30		0.28	0.34	20.8	21.0
40		0.23	0.29	43.4	43.0
50		0.19	0.25	78.7	79.0
60		0.17	0.23	123.2	123.0
70		0.15	0.21	183.7	184.0
80		0.14	0.20	252.0	252.0
90		0.13	0.19	335.7	336.0
100		0.12	0.18	437.4	437.0
110		0.11	0.17	560.4	560.0
120		0.09	0.15	755.9	756.0
130		0.08	0.14	950.5	951.0

Fuente: Tabla 3.3 M.D.G. INVIAS.
Tabla 3 Radios mínimos para peralte máximo e máx. = 6 % y fricción máxima.

Para el tramo vial diseñado, se adoptó una velocidad específica de **30 Km/h**, para un radio mínimo de **21 metros**. Ver **tabla 3,** y se tuvo en cuenta el peralte máximo de **6.0%** porque es un factor

determinante en la seguridad y movilidad de los accesos, ya que predominan los tramos en rectas y en curvas.

4.5 Elementos calculados del alineamiento

Considerando los parámetros mencionados en los numerales anteriores se realiza el diseño geométrico de la vía para la cual se calculan los diferentes elementos geométricos de diseño; adicional con el radio calculado y la velocidad específica se determina el peralte en función de las dos variables mencionadas, el cual se puede observar en el **Anexo 4**, En las siguientes tablas se pueden observar los elementos geométricos.

Nomenclatura Catastral	PR Inicial	PR Final	Coordenadas Inicial		Coordenadas Final	
			Este	Norte	Este	Norte
A-1 Accesos Puente	K0+000.00	K0+259.09	1125067.249	1486756.463	1124838.713	1486857.370

Fuente: Elaboración propia.
Tabla 4 PR de localización del proyecto.

Accesos a puente

Línea #	Longitud (m)	Rumbo	Abs. Inicial	Coordenadas Punto Inicial	Abs. Final	Coordenadas Punto Final	Nomenclatura Catastral
L1	28,95	N74° 32' 04.77W"	0+000.00	(1125067.25,1486756.46)	0+028.95	(1125039.34,1486764.18)	A-1 Accesos Puente
L2	56,03	N74° 47' 39.94W"	0+047.09	(1125021.85,1486768.98)	0+103.12	(1124967.78,1486783.68)	A-1 Accesos Puente
L3	0,82	N54° 55' 02.31W"	0+119.08	(1124953.41,1486790.42)	0+119.90	(1124952.74,1486790.89)	A-1 Accesos Puente
L4	0,70	N54° 55' 02.31W"	0+145.69	(1124931.63,1486805.72)	0+146.40	(1124931.06,1486806.12)	A-1 Accesos Puente
L5	43,94	N79° 23' 23.00W"	0+159.21	(1124919.34,1486811.06)	0+203.15	(1124876.15,1486819.15)	A-1 Accesos Puente
L6	20,20	N28° 11' 50.48W"	0+238.89	(1124848.26,1486839.57)	0+259.09	(1124838.71,1486857.37)	A-1 Accesos Puente

Fuente: AutoCAD Civil 3D 2020.
Tabla 5 Líneas tangentes con sus variables.

Curva #	Radio (m)	Longitud (m)	Rumbo	Deflexión	T (m)	E (m)	CL (m)	Nomenclatura catastral
C1	4000.00	18.14	N74° 39' 52.35W"	0°15'35.2"	9.068"	0	18.135	A-1 Accesos Puente
C2	46.00	15.96	N64° 51' 21.12W"	19°52'37.6"	8.060"	1	15.878	A-1 Accesos Puente
C3	30.00	12.81	N67° 09' 12.65W"	24°28'20.7"	6.506"	1	12.717	A-1 Accesos Puente
C4	40.00	35.74	N53° 47' 36.74W"	51°11'32.5"	19.162"	4	34.562	A-1 Accesos Puente

Fuente: AutoCAD Civil 3D 2020.
Tabla 6 Curvas Circulares con sus variables parte I.

Curva #	Nomenclatura catastral	Abs. PC	Norte PC	Este PC	Abs. PT	Norte PT	Este PT
C1	A-1 Accesos Puente	0+028.955	1486764.184	1125039.342	0+047.090	1486768.98	1125021.853

Curva #	Nomenclatura catastral	Abs. PC	Norte PC	Este PC	Abs. PT	Norte PT	Este PT
C2	A-1 Accesos Puente	0+103.123	1486783.677	1124967.781	0+119.082	1486790.42	1124953.407
C3	A-1 Accesos Puente	0+146.396	1486806.123	1124931.055	0+159.210	1486811.06	1124919.336
C4	A-1 Accesos Puente	0+203.151	1486819.151	1124876.146	0+238.890	1486839.57	1124848.258

Fuente: AutoCAD Civil 3D 2020.
Tabla 7 Curvas Circulares con sus variables parte II.

4.6 Selección del peralte en función del radio seleccionado y la velocidad especifica.

Una vez asignada la velocidad específica (VCH) a cada curva horizontal y con el radio de curvatura elegido (RC), que es el que permite ajustar de la mejor manera la trayectoria de la curva a la topografía del terreno, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su radio (RC) permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la velocidad específica (VCH), por lo tanto las curvas de radios superiores al mínimo no cumplen con la fricción transversal máxima (fTmáx) sino con las fricción transversal demandada.

En la **tabla 8** se presenta el valor del peralte en función de la velocidad y el radio de curva para carreteras terciaria y peralte máximo del **6.00%.**

emax 6.00 (%)	Velocidad especifica Vch (km/h)					
	20	30	40	50	60	70
	Radio (m)					
1.50	**194**	**421**	**738**	**1050**	**1440**	**1910**
2.00	135	299	525	750	1030	1380
2.20	122	265	465	668	919	1230
2.40	109	238	415	599	825	1110
2.60	97	212	372	540	746	1000
2.80	87	190	334	488	676	910
3.00	78	170	300	443	615	831
3.20	70	152	269	402	561	761
3.40	61	133	239	364	511	697
3.60	51	113	206	329	465	640
3.80	42	96	177	294	422	566
4.00	36	82	155	261	380	535
4.20	31	72	136	234	343	488
4.40	27	63	121	210	311	446
4.60	24	56	108	190	283	406
4.80	21	50	97	172	258	374
5.00	19	45	88	156	235	343
5.20	17	40	79	142	214	315
5.40	15	36	71	128	195	287
5.60	13	32	63	115	176	260
5.80	11	28	56	102	156	232
6.00	**8**	**21**	**43**	**79**	**123**	**184**

Fuente: Tabla 3.5 M.D.G. INVIAS.
Tabla 8 Radios (Rc) según Velocidad Especifica (Vch) y Peraltes (e) para emax = 6%.

Se adopta un radio de curvatura mínimo redondeado de 21 m para una velocidad específica de 30 Km/h, con un peralte máximo del 6%, un coeficiente de fricción transversal de 0.28, sin descartar que cada curva tendrá su propio radio y peralte en función de las condiciones de seguridad y topografía de la vía. Los valores mencionados de radio de curvatura y peralte se pueden observar en el **Anexo 4 (Planos de Diseño).**

4.7 Transición del peralte

Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva. La longitud de transición está constituida por dos tramos principales:

- *La distancia (N) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamado aplanamiento.*
- *La distancia (L) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular. La longitud total de transición se define mediante la siguiente expresión:*

$$\mathrm{Lt} = \mathrm{L} + \mathrm{N}$$

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{BN\ x\ L}}{\mathrm{e_f}}$$

Donde:
Lt: Longitud total de transición, (m).
L: Longitud del punto donde el peralte es cero al punto del peralte total en la curva circular (m).
N: aplanamiento, (m).
BN: Bombeo normal, (%).
Ef: Peralte total, (%).

4.8 Rampa de peralte.

La rampa de peralte se define como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje horizontal de la calzada y la inclinación del borde de la misma y se determina por la siguiente expresión:

$$\Delta \mathrm{s} = \mathrm{a\ x}\ (\frac{e_f - e_i}{L})$$

Donde:
Δs: Inclinación longitudinal de la rampa de peraltes, (%).
L: longitud de transición, L= Lt - N, (m).
ef: Peralte al finalizar el tramo de transición o peralte total, (%)
ei: Peralte al iniciar el tramo de transición, (%).
A: Distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, (m).

Estos valores de la inclinación de la rampa garantizan no solamente la comodidad de la marcha de los vehículos, sino una adecuada apariencia de la carretera y cualquiera que sea el sistema seguido

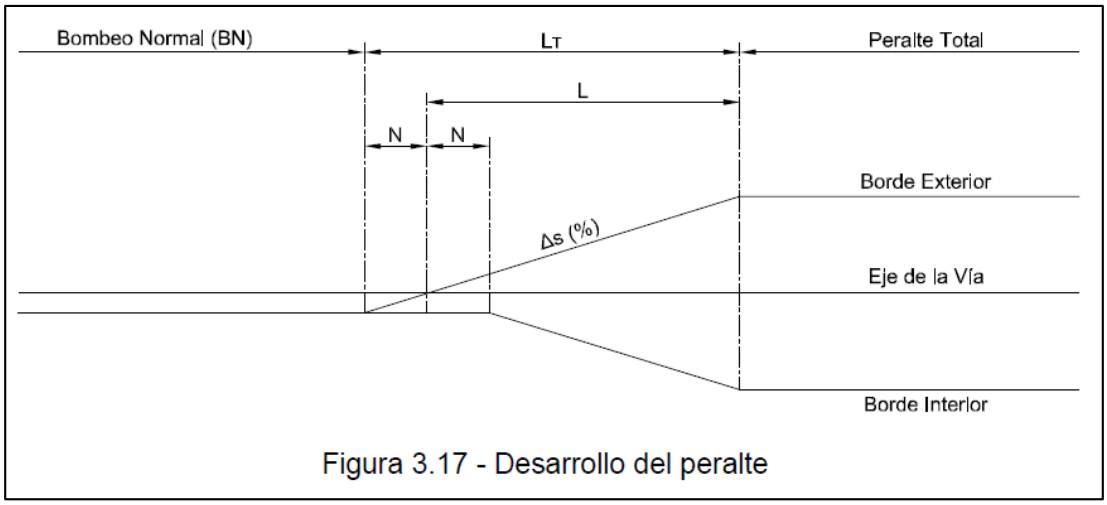
para conformar el peralte total, no deben ser excedidos. La **tabla 9** presenta valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peralte.

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1 x a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

Fuente: Tabla 3.6 M.D.G. INVIAS.
Tabla 9 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes máxima.

Se adoptan valores sugeridos por la AASHTO – 2004 para la pendiente relativa de la rampa de peraltes para las velocidades comprendida entre (60 - 120 km/h). Para las velocidades entre veinte a cincuenta kilómetros por hora (20 - 50 km/h) se adoptan valores ajustados a las necesidades de las carreteras secundarias y terciarias donde el espacio para realizar la transición de peraltado es muy limitado.

En la **ilustración 2** muestra el desarrollo de peralte a emplear, rotando la calzada desde el eje de la vía.



Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.
Ilustración 2 Desarrollo de peralte.

4.9 Cálculo de la longitud de transición

Las longitudes de transición para este caso se toman a partir del bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte máximo.

La longitud de transición se calcula de acuerdo con la relación indicada en el **numeral 4.8**, rampa de peralte, en donde se puede obtener la longitud de transición en función de la inclinación relativa de la rampa de peralte, ancho de calzada que gira y los cambios de peralte, variables ya definidas, por lo tanto, la ecuación para el cálculo queda de la siguiente manera:

$$L = a * bw * \left(\frac{ef - ei}{\Delta s}\right) \qquad a = w * n$$

Donde:

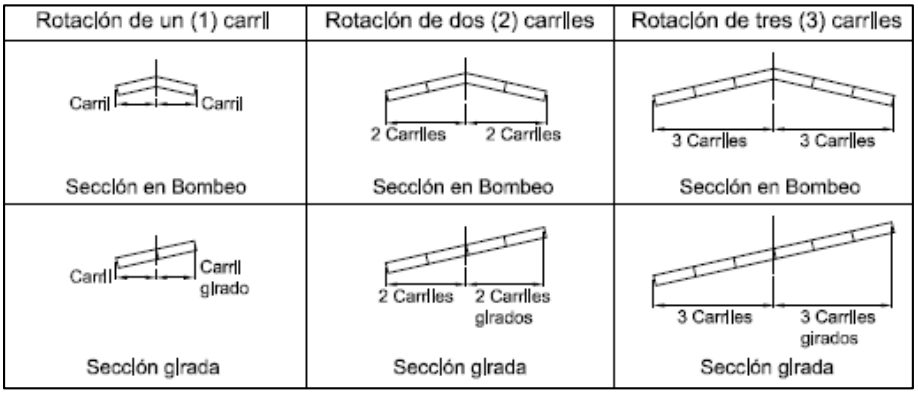
- ✓ a= Ancho de la calzada que gira (m).
- ✓ L: Longitud de transición (m).
- ✓ ef - ei = Cambio de peralte (%), donde ei = peralte inicial = 0.
- ✓ bw = factor de ajuste debido al número de carriles que giran (m).
- ✓ Δs = inclinación relativa de la rampa de peraltes.
- ✓ w = Ancho de carril (m).
- ✓ n = número de carriles que giran.

El valor de la inclinación relativa de la rampa de peralte (Δs) se obtiene de la **tabla 9**, los demás datos de la ecuación se definen al seleccionar los peraltes y el ancho de la sección transversal.

El valor del ancho de calzada que gira (a) es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno (1) es conveniente el uso de un factor de ajuste (bw) para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la **tabla 10** se indican los factores de ajuste (AASHTO - 2004) y en la **figura 3** los bosquejos que indican los carriles que giran respecto a su eje de giro.

NÚMERO DE CARRILES QUE GIRAN (n)	FACTOR DE AJUSTE (b_w)	INCREMENTO EN LOS CARRILES DE GIRO RESPECTO A UN CARRIL GIRADO
1.0	1.00	1.00
1.5	0.83	1.25
2.0	0.75	1.50
2.5	0.70	1.75
3.0	0.67	2.00
3.5	0.64	2.25

Fuente: Tabla 3.6a M.D.G. INVIAS.
Tabla 10 Factor de ajuste para el número de carriles girados.



Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.
Figura 3 Rotación de los carriles respecto a su eje.

La longitud total de transición del peralte (Longitud de transición más longitud de aplanamiento) se puede observar en el perfil de diseño geométrico de la vía. **Anexo 4 (Planos de Diseño).**

4.10 Entretangencia Horizontal

4.10.1 Entretangencia mínima

- ✓ ***Para curvas de distinto sentido:*** *si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente máxima para rampa de peraltes y por la distancia recorrido en un tiempo de 5 segundos a la menos de las velocidades específicas de las curvas adyacentes a la entretangencia en estudio.*
- ✓ ***Para curvas del mismo sentido:*** *para curvas circulares especialmente en terreno plano, la entretangencia no puede ser menor al espacio recorrido en un tiempo de quince segundos a la velocidad específica de la entretangencia horizontal.*

4.10.2 Entretangencia máxima

Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (Da), pero en el caso que se excedan estas distancias por razones propias del diseño es necesario procurar que la longitud máxima de recta no sea superior a quince (15) veces la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH) expresada en kilómetros por hora (km/h). Este criterio se aplica de igual forma para curvas de igual sentido como para curvas de diferente sentido.

4.11 Longitud mínima de la curva circular

Para ángulos de deflexión entre tangentes menores o iguales a seis grados (6°), en el caso de que no se puedan evitar, se realizará la unión de las mismas mediante una curva circular simple de tal forma que se cumplan los criterios indicados en la **tabla 11**. La aplicación de estos criterios define la longitud mínima de las curvas circulares puesto que evita diseñar curvas circulares con longitudes

demasiado cortas que generan una defectuosa apariencia de la vía y producen la sensación de quiebre forzado entre dos alineamientos rectos.

ANGULO ENTRE ALINEAMIENTOS	6°	5°	4°	3°	2°
RADIO MÍNIMO (m)	2000	2500	3500	5500	9000

Fuente: Tabla 3.10 M.D.G. INVIAS.

Tabla 11 Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos.

5 DISEÑO GEOMETRICO VERTICAL

El alineamiento vertical está formado por segmentos rectos enlazados por arcos parabólicos, a estos tramos rectos se les conocen como tangentes, cuya inclinación vertical depende principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal y del porcentaje de vehículos pesados. A continuación, se mencionarán las variables que interviene en el diseño vertical y que se tuvieron en cuenta para que el diseño sea el más óptimo y funcional.

5.1 Tangente vertical

5.1.1 Pendiente mínima

La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable.

5.1.2 Pendiente máxima

Para determinar la pendiente máxima debemos saber que esta se encuentra relacionada con la velocidad a la cual van a circular los vehículos, es decir que está pendiente varia del tipo de vía que estemos estudiando. Para vías primarias y secundarias la pendiente máxima se debe establecer considerando velocidades altas (60 – 130 km/h).

Para la selección de la pendiente máxima es necesario adoptar la pendiente media máxima del corredor, la cual debe estar en consonancia con la velocidad de diseño del tramo homogéneo en la **tabla 12** se presentan los valores correspondientes.

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

Fuente: M.D.G. INVIAS.

Tabla 12 Elección de la pendiente máxima de la vía en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo.

5.1.3 Longitud mínima

Las longitudes mínimas de las tangentes verticales dependen de la velocidad específica, es decir, para velocidades menores a 40 km/h la longitud será la distancia recorrida en siete segundos, medida como proyección horizontal. Las tangentes verticales cuyas velocidades específicas son mayores a 40 km/h no tendrán una longitud menor a la distancia recorrida en diez segundos, a continuación, se presentan los valores para diferentes velocidades específicas de la tangente vertical.

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Fuente: M.D.G. INVIAS.
Tabla 13 Longitud mínima de tangente vertical.

5.1.4 Longitud máxima

- ✓ ***Longitud critica de la tangente vertical:*** *Se considera que la Longitud crítica de la tangente vertical es aquella en la que el vehículo pesado seleccionado para el diseño sufre una reducción en su velocidad de veinticinco kilómetros por hora (25 km/h) con respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.*
- ✓ ***Pendiente de la tangente vertical siguiente a la de longitud critica:*** *La pendiente recomendable para que el vehículo pesado alcance a recuperar la velocidad inicial que tenía antes de entrar a la tangente de longitud crítica, es de uno por ciento (1%) en una longitud igual o mayor a la longitud crítica anteriormente superada.*

5.2 Curvas verticales

El diseño vertical se definió con base al nivel superior de la capa de rodadura, ajustándose lo mejor posible a la condición actual del terreno.

El diseño de curvas verticales se realizó con base al parámetro K, de igual manera buscando la mejor acomodación al terreno y mejora en la visibilidad de parada. En ningún caso se excedió la pendiente longitudinal máxima recomendada de acuerdo con la velocidad de diseño adoptada para cada sector.

En algunas abscisas se realizó las mejoras del alineamiento vertical para proporcionar condiciones adecuadas de visibilidad, comodidad y seguridad a los usuarios de la vía; sin dejar a un lado la importancia de optimizar los movimientos de tierra para no afectar el proyecto económicamente.

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CV} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE $K_{mín}$				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 (1)
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 (1)
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

Fuente: Tabla 4.4 M.D.G. INVIAS.

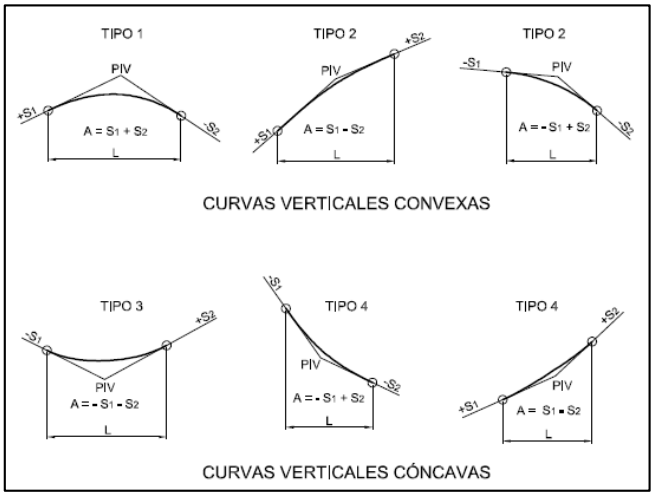
Tabla 14 Valores de K mín. para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales (Ref. tabla 4.4. M.D.G. INVIAS).

Para una vía con velocidad específica de **30 km/h** se definió un valor de K redondeado equivalente a: 2 para curvas convexas y 6 para curvas cóncavas, en casos puntuales se pondrán señales de tránsito que prevendrán al conductor a disminuir la velocidad de circulación con fin de que tenga un recorrido seguro y cómodo.

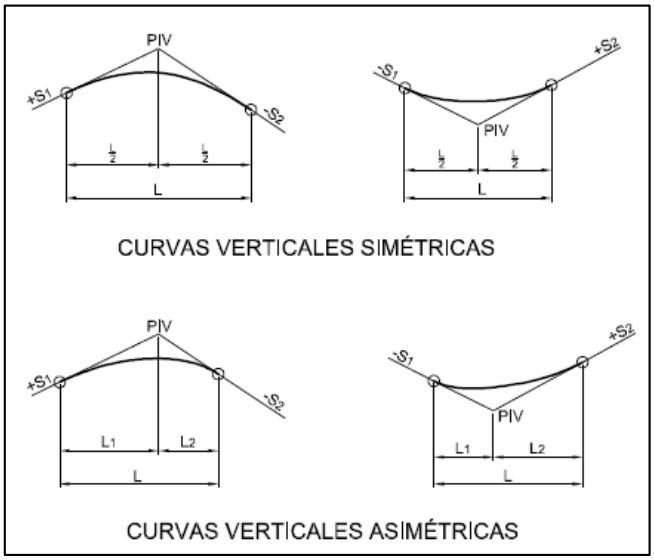
5.3 Descripción y cálculo de los elementos geométricos de la curva vertical

Las curvas verticales pueden ser de dos tipos, Cóncavas o convexas dependiendo de su forma, y simétricas o asimétricas de acuerdo a su proporción entre sus ramas. Ver **figura 4.**

Las curvas simétricas están conformadas por dos parábolas de igual longitud que se unen en la proyección vertical del PIV, para las curvas asimétricas su determinación es diferente ya que sus parábolas son de diferente longitud. En la **figura 5** se muestra un claro ejemplo de curvas simétricas y asimétricas.



Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.
Figura 4 Tipos de curvas verticales cóncavas y convexas.



Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.
Figura 5 Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas.

5.4 Determinación de la longitud de las curvas verticales

Para la determinación de las curvas verticales ya sean simétricas o asimétricas, cóncavas o convexas se deben considerar diferentes criterios.

- ✓ ***Criterio de seguridad***

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (DP). Es pertinente manifestar que en algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de adelantamiento (Da).

- ✓ ***Criterio de operación***

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

- ✓ ***Criterio de drenaje***

Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada, por lo cual el parámetro K para control de visibilidad de parada en ningún caso para curvas cóncavas puede ser mayor a 50 ya que podría convertir la curva vertical en un tramo de la vía con pendiente cero lo que ocasionaría durante un día de precipitación estancamiento de aguas lluvias.

- ✓ ***Parámetro Visibilidad de Parada (K)***

La longitud de la curva es la relación del parámetro K con la sumatoria de las pendientes longitudinales, proceso de calculo que generalmente se realiza durante el proceso de cálculo con el software AutoCAD Civil 3D, este es el método más usado para el cálculo de la longitud de la curva vertical.

En las siguientes tablas se pueden observar los diferentes acuerdos verticales del alineamiento diseñado considerando el cumplimiento de los diferentes criterios mencionados anteriormente.

Accesos Puentes

Alineación vertical: Perfil Rasante A-1 (EJE)			
Intervalo de P.K.: inicio: 0+000.000, fin: 0+259.091			
Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)			
P.K. de PAV:	0+070.000	Elevación:	39.170m
P.K. de VAV:	0+095.000	Elevación:	39.128m
P.K. de PTV:	0+119.900	Elevación:	40.367m
Punto bajo:	0+071.636	Elevación:	39.169m
Inclinación de rasante T.E.:	-0.17%	Inclinación de rasante T.S.:	4.98%
Cambiar:	5.14%	K:	
Longitud de curva:	49.900m	Radio de curva	
Distancia de iluminación:			
Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)			
P.K. de PAV:	0+146.000	Elevación:	40.351m
P.K. de VAV:	0+180.000	Elevación:	38.584m
P.K. de PTV:	0+215.000	Elevación:	39.760m
Punto bajo:	0+187.116	Elevación:	39.291m
Inclinación de rasante T.E.:	-5.20%	Inclinación de rasante T.S.:	3.36%
Cambiar:	8.56%	K:	
Longitud de curva:	69.000m	Radio de curva	
Distancia de iluminación:			

Fuente: AutocaCad Civil 3D 2020.

Tabla 15 Acuerdos verticales cóncavos y convexos.

6 DISEÑO TRANSVERSAL

6.1 Ancho de calzada

En estudio se propone 6.00 m de calzada, haciendo una transición de empalme con el ancho del puente, con el fin de buscar una sección uniforme, que brinde seguridad y comodidad a lo largo del trayecto.

Se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR).

El ancho seleccionado según la **tabla 16** debe ser de 6.00 m para una vía terciaria de una calzada en terreno plano, por tanto cumplimos con el ancho mínimo requerido según la tabla que debe tener el corredor vial.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tabla 5.2 M.D.G. INVIAS.
Tabla 16. Ancho de calzada en metros.

6.2 Bombeo normal o inclinación transversal

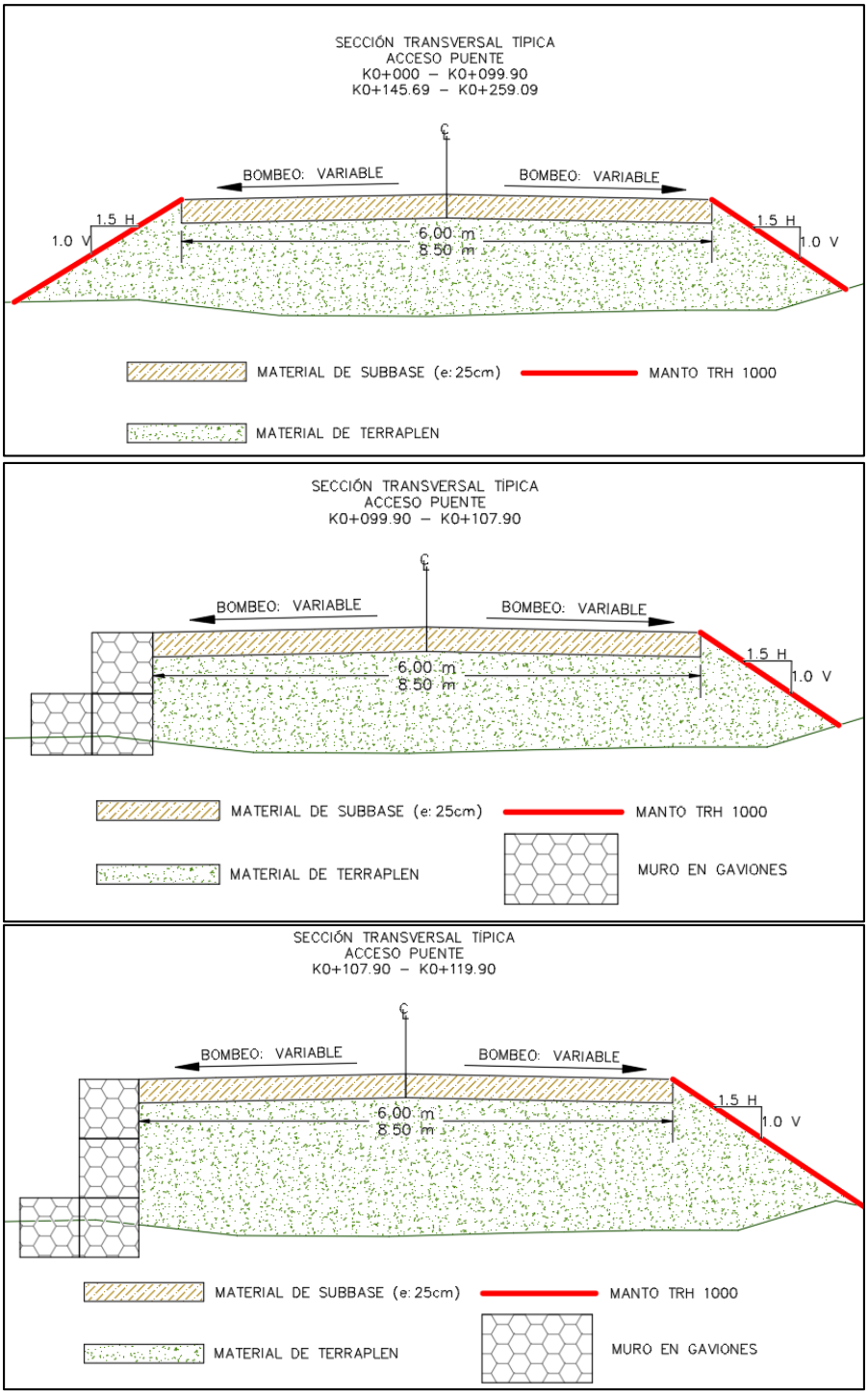
El bombeo normal es la pendiente que se le da a la calzada con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. En la siguiente **tabla 17** se indica la inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2 – 3
Superficie de tierra o grava	2 – 4

Fuente: Tabla 5.3 M.D.G. INVIAS.
Tabla 17 Determinación del bombeo de la vía a diseñar.

Para el presente estudio geométrico se adopta un bombeo del 2%, ya que la sección transversal tiene un bombeo desde el eje de la vía.

6.3 Seccion transversal tipica de diseño.



Fuente: Imagen extraída del diseño transversal.
Figura 6 Sección transversal típica diseñada.

7 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LA VÍA

La vía se localiza en terreno plano con un ancho de calzada de 6.00 m teniendo una transición en los empalmes con el puente vehicular ya que tienen distinto ancho. Los vehículos circulan a velocidades de operación de 30 km/h, en casos en donde por condiciones geométricas no se puede circular a esa velocidad se avisará al conductor que disminuya la velocidad por medio de señales de tránsito.

7.1 Características propuestas de diseño geométrico de la vía

Clasificación	Vía rural, terciaria y predominantemente plana.
Longitud (m):	233.296
Tipo de terreno:	Plano
Velocidad de diseño:	30 Km/h
Ancho de Calzada:	6.00 - 8.50 m
Ancho de Carril:	3.00 - 4.25 m
Bombeo Normal:	2.00%
Peralte Maximo	6.00%

Fuente: Elaboración propia.
Tabla 18. Características geométricas implementadas para el diseño.

Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua en tramos rectos homogéneos y tramos con curvas horizontales y acorde con las condiciones generales de la vía.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Los parámetros de diseño de curvatura se calcularon a partir de una velocidad específica de **30 Km/h**, ajustando el diseño al manual de diseño geométrico de INVIAS, en algunos casos se ajustó a las condiciones actuales de la vía.
- ✓ Se adoptó un ancho de calzada de 6.00 m y en los empalmes con el puente se hizo la transición de 6 a 8.5 metros.
- ✓ Se recomienda durante el proceso de localización y replanteo, conservar el mismo sistema de coordenadas y hacer uso de los puntos de control materializados en campo con la finalidad de conservar el mismo sistema de elevaciones que aparece en las carteras de control y localización.
- ✓ Se recomienda conservar las pendientes longitudinales planteadas en el presente informe durante el proceso constructivo, ya que la información fue recolectada del levantamiento topográfico.
- ✓ Durante el proceso de diseño transversal, se contemplaron bombeos del 2.0% para los tramos homogéneos y rectos de las vías, en los tramos con curvas horizontales se tuvo en cuenta el peralte

máximo de 6.0% contemplado en el manual de INVIAS que permiten mejorar la movilidad de los usuarios, contrarrestando los efectos de la fuerza centrífuga.

- ✓ El terreno natural en mal estado será debidamente conformado, luego se regará una capa de afirmado y se compactará hasta cumplir con las especificaciones.
- ✓ Se recomienda la valoración por parte del ingeniero estructural para la contención de los taludes cercanos a los estribos del puente y así evitar la erosión de los mismos cuando entren en contacto con el cauce de la quebrada