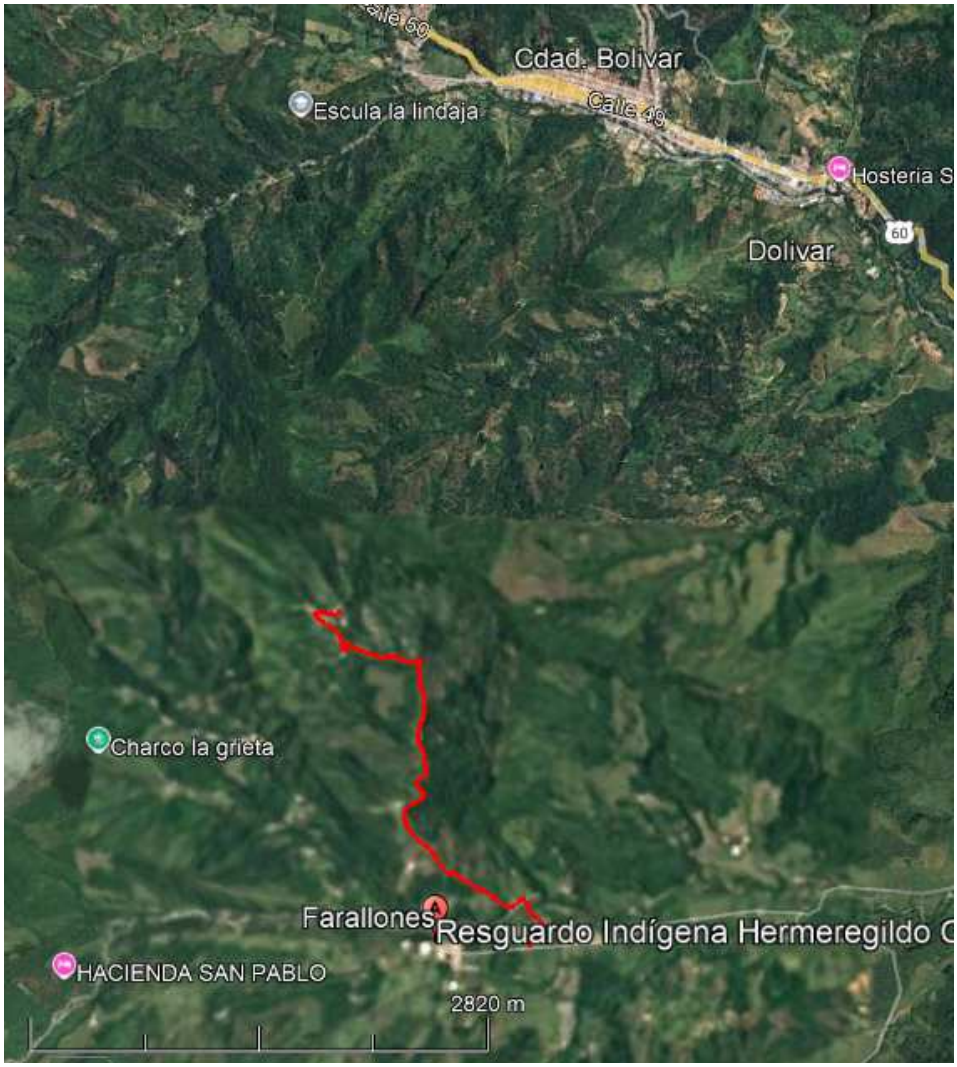


ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 18

2. OBJETIVOS 19

3. ALCANCE DEL ESTUDIO 19

4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 20

5. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 22

5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO 22

6. HIDROCLIMATOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA 24

METODOLOGÍA 26

7. ESTUDIO HIDROLÓGICO 27

7.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE GUMBEL 28

7.2 CÁLCULO DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS MÁXIMAS PROBABLES PARA DISTINTAS FRECUENCIAS 30

7.3 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA 34

ANÁLISIS DE CAUDALES 15

IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE APORTE 16

CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 17

8. MÉTODO RACIONAL 19

9. GEOMORFOLOGIA SUR DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA 21

10. DRENAJE SUPERFICIAL 23

11. DIMENSIONES MÍNIMAS 29

12. PERÍODOS DE RETORNO EN OBRAS DE DRENAJE VIAL 30

13. MEMORIAS DE CÁLCULO OBRAS DE DRENAJE 34

14. DISEÑO ESTRUCTURAS DE DRENAJE (CUNETAS) 39

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 43

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la realización de estudios hidrológicos e hidráulicos en el desarrollo de proyectos viales ha tomado gran importancia, debido a las consecuencias que la ausencia de los mismos ha traído consigo. Sabiendo que Colombia es uno de los países más húmedos del planeta, ocasionando que las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia, además que en su construcción se deba atravesar o bordear numerosos cursos de agua. Esta condición hace especialmente necesario el diseño y la construcción de sistemas de drenaje, en donde cuya eficacia dependerá, en buena medida, la calidad de la operación vial y la vida útil de las carreteras nacionales. (Instituto Nacional de Vías, 2009).

Los estudios hidrológicos brindan la información en cuanto a cantidad del caudal a manejar en determinada área y junto con el análisis hidráulico se plantean los mecanismos para su evacuación brindando protección a los habitantes de la misma.

De acuerdo a lo anterior el presente informe expondrá las características técnicas del **ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.**

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar las condiciones climáticas e hidrológicas PARA EL PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA", con el fin de realizar una evaluación hidráulica, para el manejo eficiente de los caudales por escorrentía.

Objetivos Específicos

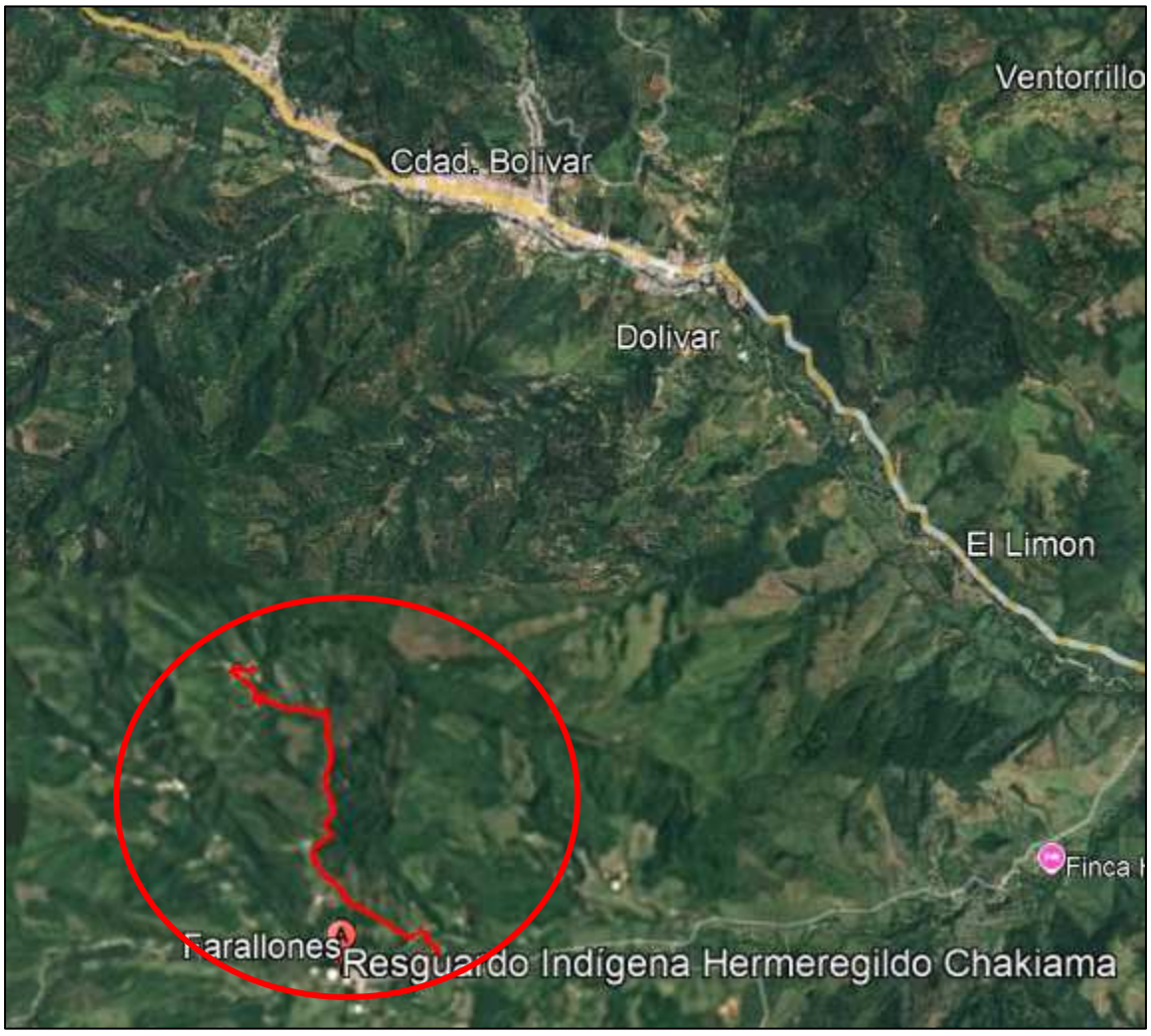
- Analizar la información climática, geomorfológica e hidrología correspondiente al área de estudio.
- Estimar caudales máximos para diferentes periodos de retornos.
- Establecer altura lámina de agua máxima en la vía a intervenir.
- Estimar las alternativas y manejo de caudales generados en la zona de estudio.

3. ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente documento va dirigido AL PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA".

4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Ciudad Bolívar, es un municipio de Colombia, localizado en la subregión Suroeste del departamento de Antioquia. Limita por el norte con el municipio de Salgar, por el este con los municipios de Salgar, Pueblorrico e Hispania, por el sur con el municipio de Betania, y por el oeste con el departamento de Chocó.





Fuente: Autor.

5. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

El municipio de Ciudad Bolívar, ubicado en el suroeste del departamento de Antioquia, Colombia, presenta un clima predominantemente cálido-húmedo, característico de las zonas montañosas interandinas con influencia de la zona cafetera colombiana. Esta localidad se sitúa a una altitud promedio de 1.520 metros sobre el nivel del mar, lo cual le confiere una variabilidad térmica moderada y un régimen pluviométrico bien definido. El clima está fuertemente influenciado por la topografía quebrada y la presencia de sistemas montañosos, que inciden en la formación de microclimas y en la distribución espacial de las lluvias.

El régimen climático de la zona está marcado por dos periodos de lluvias intensas, conocidos como las dos estaciones húmedas, que se presentan entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre, intercaladas con dos estaciones secas relativas. Esta condición climática favorece actividades agropecuarias, especialmente el cultivo de café, plátano y productos de pancoger, así como la regeneración natural de ecosistemas.

6.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

TEMPERATURA

La temperatura media anual en Ciudad Bolívar oscila entre los 18 °C y 24 °C, dependiendo de la altitud de las veredas o sectores del municipio. En el casco urbano y áreas cercanas, la temperatura promedio se mantiene alrededor de los 21 °C. Esta condición térmica clasifica la zona dentro de un clima templado-húmedo. Las variaciones térmicas diurnas no son extremas, lo que genera condiciones favorables para cultivos permanentes y semipermanentes.

- **Máxima promedio**: entre 23,4 °C (mayo) y 25,4 °C (marzo).
- **Mínima promedio**: entre 10,4 °C (enero) y 13,4 °C (marzo).
- **Media mensual**: entre 16,6 °C (mayo) y 17,7 °C (abril).

PRECIPITACIÓN

La precipitación media anual en el municipio varía entre 2.000 mm y 3.000 mm, con una distribución bimodal típica de la región andina colombiana. Las lluvias están asociadas principalmente a la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y a los

vientos cargados de humedad provenientes del Océano Pacífico. En los meses más lluviosos (abril-mayo y octubre-noviembre), las precipitaciones pueden superar los 300 mm mensuales. Estas condiciones deben considerarse en el diseño de obras civiles, drenajes agrícolas y sistemas de captación de aguas.

- Mayo: 423,2 mm.
- Octubre: 402,7 mm.
- Meses más secos: enero (54,5 mm) y julio (113,5 mm).

El número de días con lluvia también varía, alcanzando hasta 27 días en mayo.

HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa del aire se mantiene alta a lo largo del año, con promedios entre el 75 % y el 85 %, alcanzando sus mayores valores en los periodos de lluvia. Esta condición favorece la proliferación de especies vegetales y microorganismos, aunque también puede incidir en la aparición de enfermedades fúngicas en cultivos si no se manejan adecuadamente las coberturas y prácticas culturales.

BRILLO SOLAR

El brillo solar en Ciudad Bolívar es relativamente moderado debido a la frecuencia de días nublados en temporadas de lluvia. Se estima que el municipio cuenta con un promedio anual de entre 1.600 a 1.900 horas de sol, concentradas principalmente en los meses secos. Este factor debe considerarse en estudios relacionados con eficiencia energética, cultivo de especies fotosensibles y diseño de sistemas solares.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO

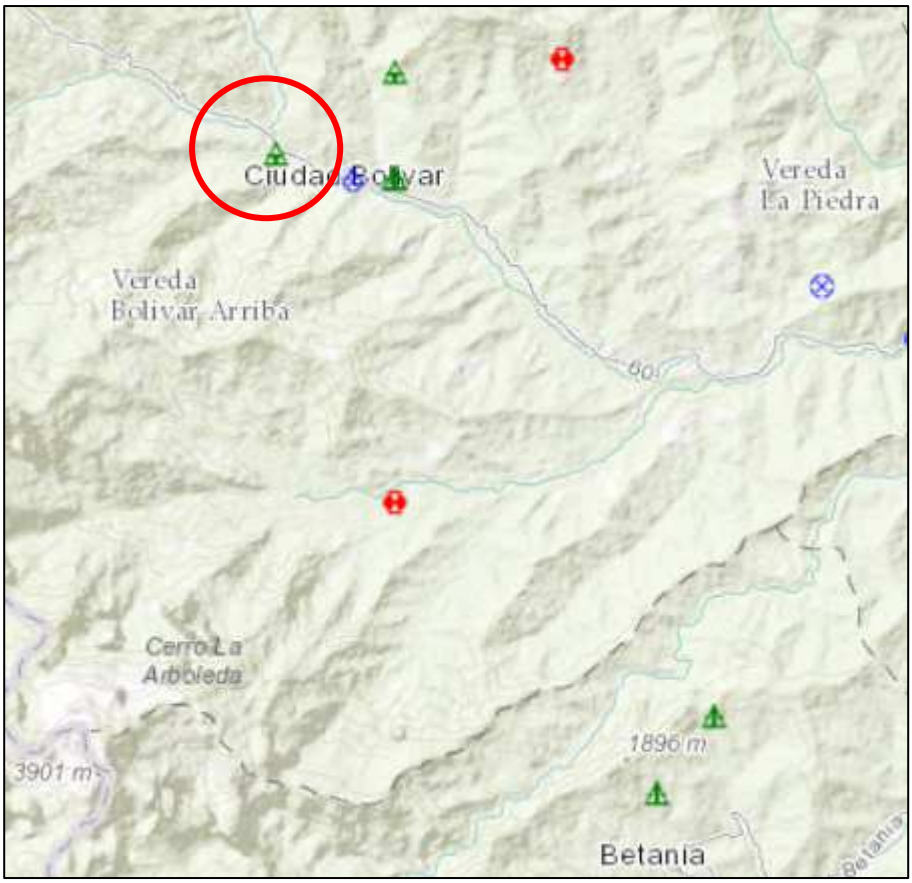
Los suelos de Ciudad Bolívar se derivan principalmente de materiales de origen volcánico y sedimentario, con una textura que varía entre franco-arenosa y franco-limosa, dependiendo del uso del suelo y la pendiente. Son suelos profundos, moderadamente bien drenados, con buen contenido de materia orgánica en zonas bajo cobertura boscosa o de cultivos perennes. El pH varía entre ligeramente ácido a neutro, y presentan una buena capacidad de retención de humedad, lo cual es ventajoso para la agricultura. No obstante, en zonas con alta pendiente se presenta riesgo de erosión, por lo cual se recomienda el uso de prácticas de conservación del suelo como terrazas, barreras vivas y coberturas vegetales permanentes.

8. HIDROCLIMATOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA

Para el análisis climatológico de la zona en estudio y de las áreas de drenaje aferentes a él, se recopiló información de la zona en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), específicamente para la precipitación. Los datos climatológicos se obtuvieron a través de la consulta del EOT del municipio y del atlas climatológico de Colombia realizado por el IDEAM.

Para el análisis hidrológico y climatológico, se utilizó la información de la estación **CIUDAD BOLIVAR**, administrada por el IDEAM. En la tabla 2, se presenta el nombre, tipo y código de la estación estudiada y sus características de elevación, localización y período de registro.

Tabla N°2. Estación climatológica seleccionada en la zona de estudio.



Código	Estación	Categoría	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
2619000041	CIUDAD BOLIVAR	PLUVIOGRAFICA	Antioquia	5.85	-76.03	1300

Catalogo Nacional de Estaciones: CIUDAD BOLIVAR - AUT [2619000041]

Código	2619000041
Nombre	CIUDAD BOLIVAR - AUT [2619000041]
Categoría	Pluviográfica
Longitud	-76,03
Latitud	5,85
Altitud	1.300,00
Departamento	Antioquia
Municipio	Ciudad Bolívar
Estado	Activa
Tecnología	Automática con Telemetría
Fecha de Instalación	Mayo 2, 2013
Fecha de Suspensión	

METODOLOGÍA

De forma general, la metodología seguida para la elaboración de este estudio consiste en los siguientes procesos:

- Consulta y adquisición de información hidrometeorológica y de planchas del IGAC, complementada con consultas en Internet y otras fuentes en la zona del estudio.

- Visitas de campo para el reconocimiento de la zona en la cual se desarrollará el proyecto.

- Procesamiento de información primaria y secundaria recopilada para la ejecución de los diseños.

- Planteamiento de criterios básicos para los estudios y diseños.

- Delimitación y caracterización de la cuenca.

- Cálculo del tiempo de concentración con base en los distintos métodos o fórmulas empíricas, para la determinación de las entradas de precipitación a los modelos lluvia-escorrentía. El tiempo de concentración será la variable de entrada a las curvas intensidad-duración-frecuencia, que se utilizarán en la estimación de las intensidades de lluvia asociadas a los períodos de retorno estipulados.

- Estimación de caudales para diferentes periodos de retorno (2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años), utilizando lo métodos sintéticos que son apropiados para cuencas.

- Finalmente, organización del informe que contendrá todo el proceso metodológico de los estudios y criterios de diseño establecidos para las obras proyectadas, y las observaciones, conclusiones y recomendaciones del caso.

8. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1984											.	0
1985	0.8		1.8	8.7	8.8	10.9	4.2	11.8	9.2	11.9	1.5	1.4
1986	0		100.5	10.8	90.4	90	35	80	40	45	20.5	17.4
1987	54		60	90	100.4	100.2	70.6	90.3	39.4	33.3	80.4	34.1
1988	0		1.8	38	37	101.5	57	62	44	101.9	47.6	10
1989	0		132.7	2	28.7	40	34.9	91.6	28.4	28	105	70
1990	8.3		21	100	8.1	90	27.5	30	24	177.2	38.3	12
1991	0		62	38.8	45.6	13	8.7	22.2	41.4	71.2	124.7	12.6
1992	17.8		0.1	107	63	105	110	50	40	67	100	4.3
1993	16.8		58.7	8.9	14	8.6	28	45	45	112	60	16
1994	5.1		43	63	54	44	76	45.3	82	62	42	9
1995	0		51.1	34	30	10.5	36	67.3	72.8	34.7	87.6	45.8
1996	0		111.6	110.2	111.2	89	78	69	99.5	98	93.6	68.3
1997	53.5		23	53	30	71	27	34	75	48	72	0
1998	0		75	46	63	34.4	78	77	64	44	44	68
1999	36		50	28.3	65	67	34	62	88.53	68	80	22
2000	49.9		35	23	88	64.1	29	115.3	103.3	110.3	62.6	69.5
2001	0		44.2	19	86	39	52	28	56.1	65.6	67.3	38
2002	0		43	46.7	78.6	39	64.9	91.5	61.6	146	36.8	44.2
2003	0		107.6	67.3	34.1	72.3	28.6	41	74.1	50.7	71.3	26
2004	0		0	67.8	3 81.0	13	32	37	58.6		42.03	.
2005	4.5		.03	61.7	61.53	117	21.4	66.5	114.53	55.63	116.23	24.4
2006	0		55.6	85	36.7	116.2	55.1	67.4	55.6	54.3	83.2	0
2007	0		51.5	55	79	41	58.5	117	61	83	40.3	21
2008	16.5		2.5	43.4	65	73	127.3	47.6	48	32.4	50.5	4.4
2009	37		32.5	34.2	67.7	66.7	28.7	76.5	27.5	51	34	32.3
2010	0		24.3	78	88.3	57.2	44.5	99.5	90.1	44.7	118.5	70
2011	20.2		86.7	59.4	28.3	53.1	62.8	57.4	56.3	61.7	64	65
2012	32.3		15.7	65.8	74.9	34.7	52.1	44.2	64.7	129.3	57	18
2013	0		54.2	43.7	61.9	34.3	37.4	84.9	67.3	98.2	63.1	47.1
2014	0		41.9	57.2	43.2	12.8	41.3	65.8	61.9	79.3	94.8	49.7
2015	0		3.2	32.4	33	34	21.9	38.1	46.3			

Fuente: I D EA M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

8.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE GUMBEL

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			xi	*(xi - x)^2*
1	1971	100	100	300.059383
2	1972	55	55	766.059383
3	1973	87	87	18.6816049
4	1974	90	90	53.6149383
5	1975	100	100	300.059383
6	1976	75	75	58.9482716
7	1977	85	85	5.39271605
8	1978	116	116	1110.37049
9	1979	118	118	1247.65938
10	1980	81	81	2.81493827
11	1981	90	90	53.6149383
12	1982	80	80	7.17049383
13	1983	43	43	1574.32605
14	1984	85	85	5.39271605
15	1985	100	100	300.059383
16	1986	84	84	1.7482716
17	1987	120	120	1392.94827
18	1988	98.8	98.8	259.926049
19	1989	98	98	234.770494
20	1990	62	62	427.570494
21	1991	70	70	160.726049
22	1992	122	122	1546.23716
23	1993	95	95	151.83716
24	1995	49	49	1134.19272
25	1996	112	112	859.792716
26	1997	59.1	59.1	555.911605
27	1998	86	86	11.0371605
28	1999	86	86	11.0371605
29	2000	50.5	50.5	1035.40938
30	2001	70.5	70.5	148.298272
31	2002	51	51	1003.4816
32	2003	98	98	234.770494

33	2004	57	57	659.348272
34	2005	72.4	72.4	105.632716
35	2006	51	51	1003.4816
36	2007	87.7	87.7	25.222716
37	2008	67.5	67.5	230.364938
38	2009	136	136	2843.25938
39	2010	85	85	5.39271605
40	2011	134	134	2633.97049
41	2012	81	81	2.81493827
42	2013	78	78	21.8816049
43	2014	64	64	348.859383
44	2015	90	90	53.6149383
45	2016	0	0	6835.61494
46	2017	13	13	8899.45198
47	2018	45	45	12142.8298
48	2019	77	77	15386.2075
49	2020	9	9	18629.5853
50	2021	141	141	21872.9631
51	2022	173	173	25116.3409

Fuente: Autor.

CÁLCULO VARIABLES PROBABILÍSTICAS

Cálculo variables probabilísticas		
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	82.68	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	26.00	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	20.27	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	70.98	mm

8.1 CÁLCULO DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS MÁXIMAS PROBABLES PARA DISTINTAS FRECUENCIAS

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Retorno	*Reducida*	*(mm)*	*ocurrencia*	*intervalo fijo*
Años	*YT*	*XT'(mm)*	*F(xT)*	*XT (mm)*
2	0.3665	78.4067	0.5000	88.5996
5	1.4999	101.3835	0.8000	114.5633
10	2.2504	116.5961	0.9000	131.7536
25	3.1985	135.8172	0.9600	153.4735
50	3.9019	150.0766	0.9800	169.5865
100	4.6001	164.2306	0.9900	185.5806
500	6.2136	196.9385	0.9980	222.5405

Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas (Fuente: D. F. Campos A., 1978)

Duraciones, en horas									
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**12**	**18**	**24**
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN DE LLUVIAS

Tiempo de Duración	**Cociente**	**Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración**						
		2 años	**5 años**	**10 años**	**25 años**	**50 años**	**100 años**	**500 años**
24 hr	X24	88.5996	114.5633	131.7536	153.4735	169.5865	185.5806	222.5405
18 hr	X18 = 91%	80.6257	104.2526	119.8957	122.7788	154.3237	168.8783	202.5118
12 hr	X12 = 80%	70.8797	91.6507	105.4028	122.7788	135.6692	148.4645	178.0324
8 hr	X8 = 68%	60.2477	77.9031	89.5924	104.3619	115.3188	126.1948	151.3275
6 hr	X6 = 61%	54.0458	69.8836	80.3697	93.6188	103.4478	113.2042	135.7497
5 hr	X5 = 57%	50.5018	65.3011	75.0995	87.4799	96.6643	105.7809	126.8481

4 hr	X4 = 52%	46.0718	59.5729	68.5118	79.8062	88.1850	96.5019	115.7211
3 hr	X3 = 46%	40.7558	52.6991	60.6066	70.5978	78.0098	85.3671	102.3686
2 hr	X2 = 39%	34.5539	44.6797	51.3839	59.8546	66.1387	72.3764	86.7908
1 hr	X1 = 30%	26.5799	34.3690	39.5261	46.0420	50.8760	55.6742	66.7621

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.

$$I = \frac{P\ [mm\ ]}{t_{\ duración}\ [hr\ .]}$$

Tiempo de duración		**Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno**						
Hr	**min**	**2 años**	**5 años**	**10 años**	**25 años**	**50 años**	**100 años**	**500 años**
24 hr	1440	3.6917	4.7735	5.4897	6.3947	7.0661	7.7325	9.2725
18 hr	1080	4.4792	5.7918	6.6609	6.8210	8.5735	9.3821	11.2507
12 hr	720	5.9066	7.6376	8.7836	10.2316	11.3058	12.3720	14.8360
8 hr	480	7.5310	9.7379	11.1991	13.0452	14.4149	15.7744	18.9159
6 hr	360	9.0076	11.6473	13.3949	15.6031	17.2413	18.8674	22.6250
5 hr	300	10.1004	13.0602	15.0199	17.4960	19.3329	21.1562	25.3696
4 hr	240	11.5180	14.8932	17.1280	19.9515	22.0462	24.1255	28.9303
3 hr	180	13.5853	17.5664	20.2022	23.5326	26.0033	28.4557	34.1229
2 hr	120	17.2769	22.3398	25.6919	29.9273	33.0694	36.1882	43.3954
1 hr	60	26.5799	34.3690	39.5261	46.0420	50.8760	55.6742	66.7621

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Dónde:

I = Intensidad (mm/hr)
t = Duración de la lluvia (min)
T = Período de retorno (años)
K, m, n = Parámetros de ajuste

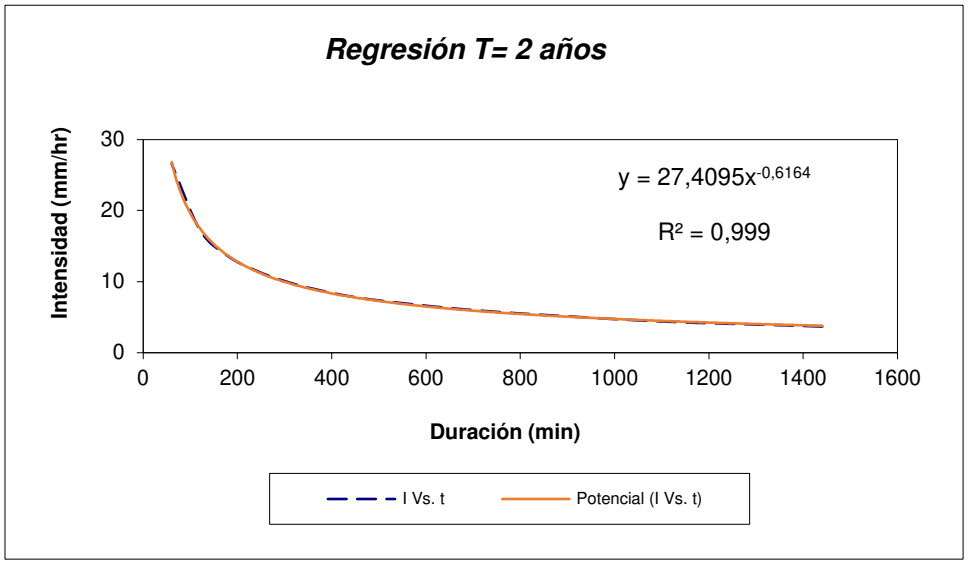
Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^{m}$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^{n}} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	**1440**	**3.6917**	7.2724	1.3061	9.4983	52.8878
2	**1080**	**4.4792**	6.9847	1.4994	10.4732	48.7863
3	**720**	**5.9066**	6.5793	1.7761	11.6853	43.2865
4	**480**	**7.5310**	6.1738	2.0190	12.4650	38.1156
5	**360**	**9.0076**	5.8861	2.1981	12.9381	34.6462
6	**300**	**10.1004**	5.7038	2.3126	13.1904	32.5331
7	**240**	**11.5180**	5.4806	2.4439	13.3942	30.0374
8	**180**	**13.5853**	5.1930	2.6090	13.5484	26.9668
9	**120**	**17.2769**	4.7875	2.8494	13.6413	22.9201
10	**60**	**26.5799**	4.0943	3.2802	13.4301	16.7637
10	4980	109.6765	**58.1555**	**22.2937**	**124.2642**	**346.9435**
Ln (d) =	**5.8140**		***d =***	**334.9531**	***n =***	**-0.6164**



Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	**Término ctte. de regresión (d)**	**Coef. de regresión [n]**
2	334.95312411660	-0.61638608809
5	433.10954656338	-0.61638608809
10	498.09763909527	-0.61638608809
25	633.18396832148	-0.63362500463
50	641.12610388772	-0.61638608809
100	701.59214850323	-0.61638608809
500	841.31994699711	-0.61638608809
Promedio =	583.34035392640	-0.61884879045

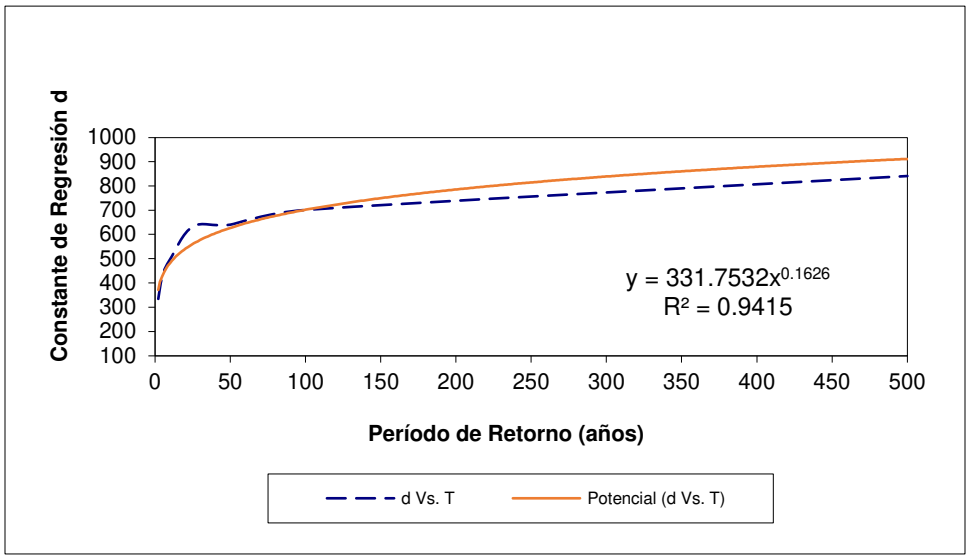
En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^{m}$$

Regresión potencial						
Nº	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	**2**	**334.9531**	0.6931	5.8140	4.0300	0.4805
2	**5**	**433.1095**	1.6094	6.0710	9.7709	2.5903
3	**10**	**498.0976**	2.3026	6.2108	14.3009	5.3019
4	**25**	**633.1840**	3.2189	6.4508	20.7642	10.3612
5	**50**	**641.1261**	3.9120	6.4632	25.2843	15.3039
6	**100**	**701.5921**	4.6052	6.5534	30.1793	21.2076
7	**500**	**841.3199**	6.2146	6.7350	41.8552	38.6214
7	692	4083.3825	**22.5558**	**44.2981**	**146.1847**	**93.8667**
Ln (K) =	**5.8044**		***K =***	**331.7532**	***m =***	**0.1626**

Termino constante de regresión (K) = 331.75

Coeficiente de regresión (m) = 0.162



11.4 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA

Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) tienen utilidad en la determinación de caudales pico, cuando se utilizan métodos que relacionan las precipitaciones con la escorrentía teniendo en cuenta las características fisiográficas de las cuencas.

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{331.7532 * T^{0.162590}}{t^{0.61885}}$$

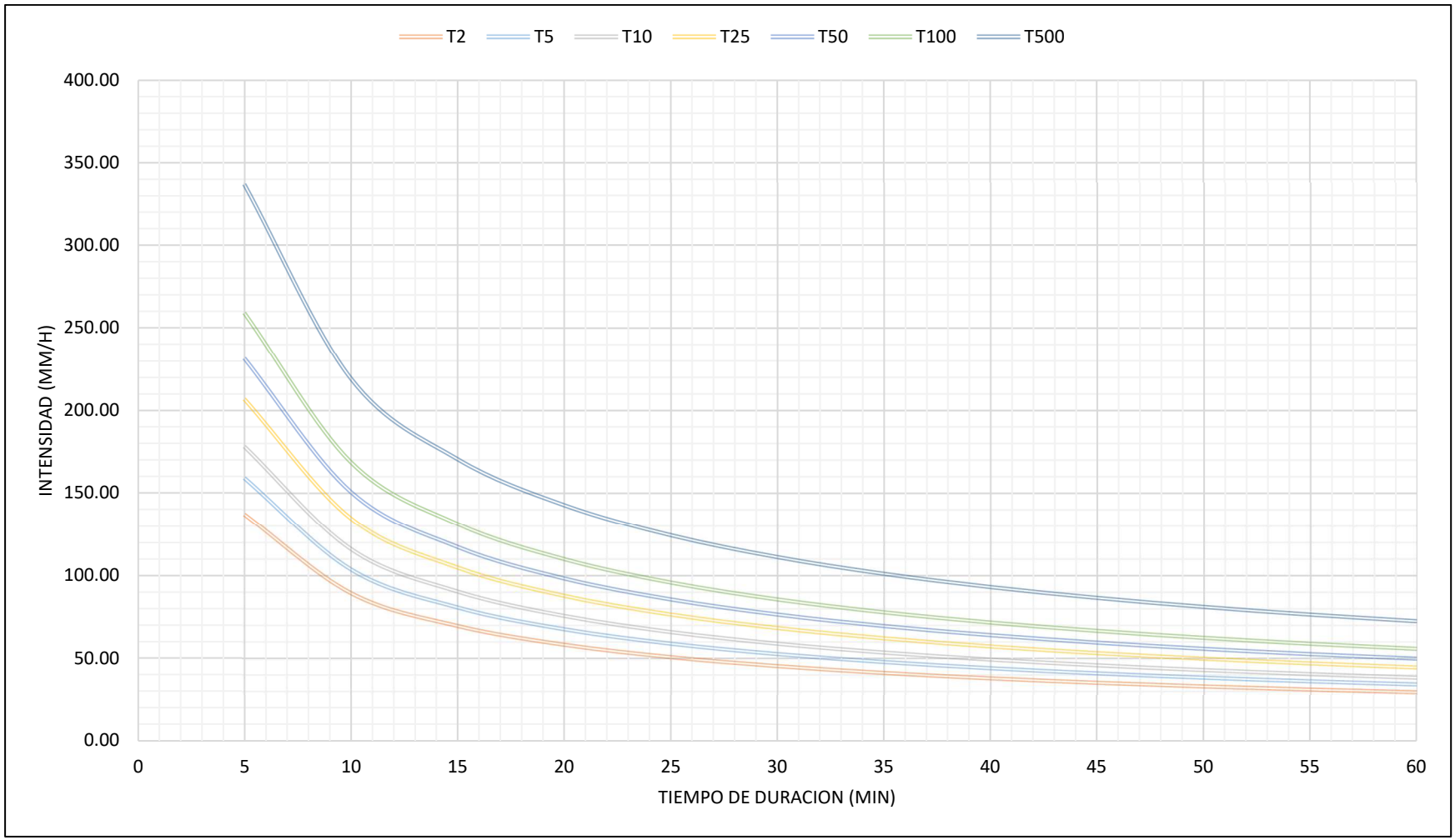
Dónde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr).
T = Periodo de Retorno (años).
t = Tiempo de duración de precipitación (min).

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	137.15	89.31	69.49	58.16	50.66	45.25	41.14	37.87	35.21	32.99	31.10	29.47
5	159.19	103.66	80.66	67.50	58.80	52.52	47.74	43.96	40.87	38.29	36.09	34.20
10	178.18	116.03	90.28	75.56	65.81	58.79	53.44	49.20	45.74	42.85	40.40	38.28
25	206.80	134.67	104.78	87.69	76.38	68.23	62.02	57.10	53.09	49.74	46.89	44.43
50	231.47	150.73	117.28	98.15	85.49	76.37	69.42	63.92	59.42	55.67	52.48	49.73
100	259.08	168.71	131.27	109.86	95.69	85.48	77.71	71.54	66.51	62.31	58.75	55.67
500	336.58	219.18	170.54	142.72	124.32	111.05	100.95	92.94	86.41	80.95	76.32	72.32

Con lo anterior se obtiene la curva IDF:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.



ANÁLISIS DE CAUDALES

♦ COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

La evaluación del coeficiente de escorrentía se realizó con base en los coeficientes de escorrentía presentados en el manual de drenaje – INVIAS, para este tipo de zona y la cobertura del suelo de esta área.

Tabla 2.10. - Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales (Referencia 2.4)

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

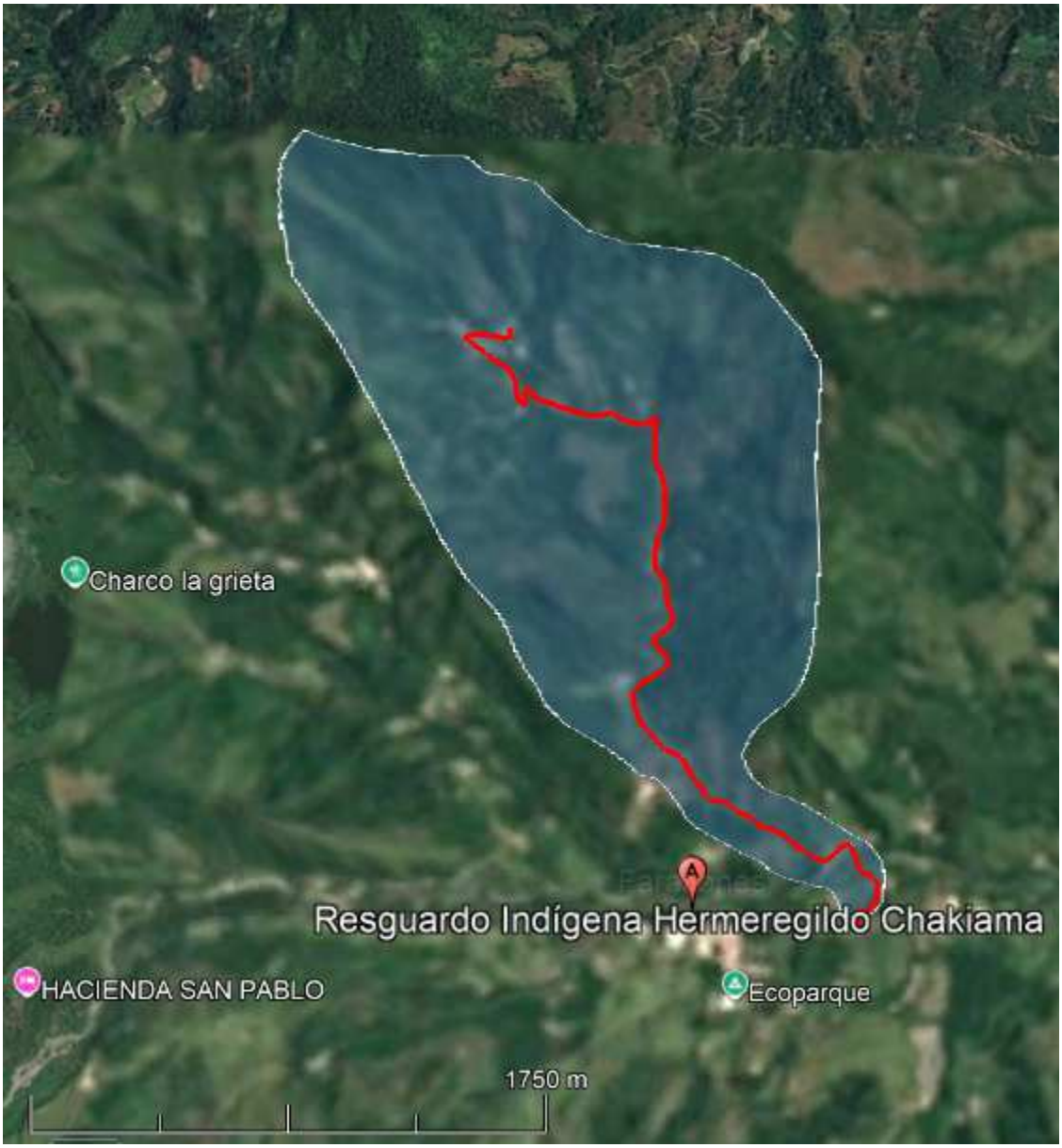
Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras – INVIAS

Por lo tanto, se toma un coeficiente de 0,25.

IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE APORTE

De acuerdo a la topografía y líneas de flujo se realizó la delimitación de los drenajes a lo largo del tramo vial que comprende el proyecto.

LOCALIZACIÓN DRENAJES MICROCUENCA



Fuente: Autor.

CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se realizó con base en fórmulas que son de frecuente aplicabilidad en el medio, uno de los criterios para la selección del tiempo de concentración es el criterio de la velocidad media del flujo en el terreno.

El área de aporte y la longitud de los tramos fueron medidas utilizando el programa Autocad y la cartografía reportada anteriormente.

Para el cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se emplearon algunas de las fórmulas presentadas en el manual de drenaje del INVIAS.

- ✓ **TÉMEZ:**

$$T_c = 0.30 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud tramo (km).
S: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente dividido L (%).

- ✓ **ECUACIÓN DE KIRPICH**

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

- ✓ **ECUACIÓN DE V.T. CHOW**

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

- ✓ **ECUACIÓN DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO DE LOS ESTADOS UNIDOS**

$$T_c = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

MODELOS LLUVIA ESCORRENTIA

Tomando como referencia el manual de drenaje INVIAS:

"Análisis de caudales. Los caudales de drenaje de diseño para los diferentes periodos de retorno se analizarán, en lo posible, a partir de información hidrométrica disponible en el IDEAM o en otra entidad. En caso de que no se disponga de registros de caudales, se aplicarán métodos indirectos convencionales, como modelos lluvia – escorrentía o estudios regionales de crecientes, entre otros."

Dentro de estos modelos lluvia – escorrentía tenemos el método Racional, el cual la misma norma lo recomienda en el ítem **2.5.5. Modelos lluvia – escorrentía (2.5.5.1. Rangos de aplicación según el área de la cuenca)**



12. MÉTODO RACIONAL

El método racional presenta una concepción sencilla y está restringido a áreas menores de 20 km², poco heterogéneas en sus propiedades, por lo tanto, se utilizó este método para determinar el caudal en este estudio, debida a que estos se encuentran asociados a las aguas de escorrentía provenientes de la zona urbana. Esta metodología se atribuye generalmente a Kuicling (1888) y a Lloyd Davis (1906), pero ya Mulvaney (1851) había explicado claramente las bases de su fundamentación en un artículo.

La expresión más conocida es de la forma:

$$Q = \frac{C \,.\, I \,.\, A}{3.6}$$

(2.5.5.2. Método racional - Manual de Drenaje para Carreteras, INVIAS)

Dónde:

Q : Caudal pico efectivo (m³/s)
C : Coeficiente de escorrentía (adimensional).
I : Intensidad de la precipitación expresada en (mm/h).
A : Área de drenaje de la cuenca expresada en (km²).

HIDRÁULICA

16. GEOMORFOLOGIA SUR DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

GEOMORFOLOGÍA

El municipio de Ciudad Bolívar se encuentra localizado en la vertiente oriental de la cordillera Occidental de los Andes colombianos, dentro de la región conocida como el suroeste antioqueño. Su territorio presenta una topografía predominantemente montañosa, con un relieve abrupto que configura paisajes característicos de zonas andinas de alta pendiente, cañones profundos y terrazas fluviales, conformando una estructura geomorfológica compleja que responde a procesos tectónicos y erosivos activos.

1. Unidades Geomorfológicas

El territorio de Ciudad Bolívar puede dividirse en varias unidades geomorfológicas, cada una con características distintivas:

a. Zonas de Montaña

Estas zonas cubren la mayor parte del municipio y se caracterizan por pendientes superiores al 25%, con elevaciones que varían entre los 1.200 y 3.000 msnm. Son formaciones estructurales producto de los levantamientos tectónicos asociados al sistema de fallas de Romeral, lo que ha generado un relieve intensamente disectado, con presencia de laderas inestables y procesos de remoción en masa. Estas zonas corresponden al paisaje montañoso alto andino y subandino.

b. Valles Interandinos y Cañones Fluviales

Los valles interandinos están asociados principalmente a los cursos de los ríos San Juan y sus afluentes, que han labrado cañones estrechos y profundos. Estas unidades geomorfológicas están formadas por depósitos aluviales recientes, terrazas fluviales y acumulaciones coluviales en las partes bajas, constituyendo áreas potencialmente aptas para la agricultura, aunque también vulnerables a inundaciones y avenidas torrenciales.

c. Lomeríos y Piedemontes

En las zonas intermedias entre las montañas y los valles, se encuentran formaciones de lomeríos ondulados y colinas de menor pendiente, con altitudes que oscilan entre los 1.000 y 1.800 msnm. Estos sectores presentan suelos más profundos y mayor estabilidad relativa, siendo usados tradicionalmente para el cultivo de café y otros productos agrícolas permanentes.

2. Procesos Geodinámicos

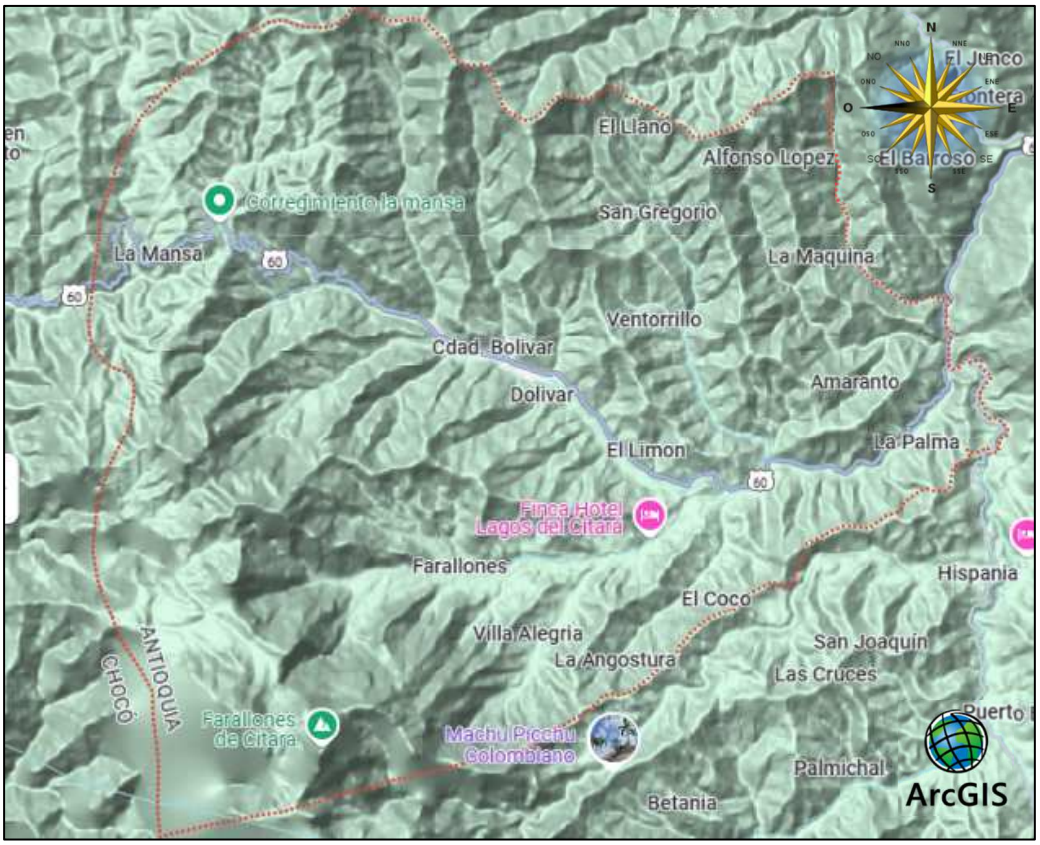
La geomorfología de Ciudad Bolívar está influenciada por procesos exógenos e internos que moldean constantemente el paisaje:

- **Erosión hídrica superficial y en cárcavas**, favorecida por las lluvias intensas y la escasa cobertura vegetal en zonas intervenidas.
- **Remoción en masa**, incluyendo deslizamientos, flujos de lodo y caída de rocas, especialmente en las laderas con pendientes fuertes y suelos saturados.
- **Avenidas torrenciales y movimientos fluviales**, que modifican los cauces, especialmente en época de lluvias intensas.
- **Actividad tectónica**, asociada a la cercanía de sistemas de fallas activas como la Falla de Romeral, que genera fracturamientos y deformaciones del terreno.

3. Materiales Geológicos y Formación del Relieve

El sustrato geológico de Ciudad Bolívar está compuesto por rocas metamórficas y volcánicas del Cretácico y Paleozoico, así como intrusivos ígneos y depósitos sedimentarios terciarios. Las formaciones predominantes incluyen esquistos, filitas, cuarcitas y andesitas, con presencia de intrusiones graníticas en algunas zonas.
Este conjunto de materiales ha sido modelado a lo largo del tiempo por procesos tectónicos que han originado fracturas, plegamientos y zonas de falla, lo que incide directamente en la inestabilidad del terreno y en la morfología del paisaje.

ZONA MONTAÑOSA



18. DRENAJE SUPERFICIAL ALCANTARILLAS[1]

Una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye, por lo tanto, conductos con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón principalmente.
El diseño de la alcantarilla consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada - Hw (La carga a la entrada (Hw) corresponde a la profundidad del agua, medida desde la batea, aguas arriba de la alcantarilla. Estrictamente hablando, debe incluir la cabeza de velocidad a la entrada, pero si se asume una velocidad de aproximación muy baja, este término se puede despreciar) atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos y de facilidad de mantenimiento.

LOCALIZACIÓN

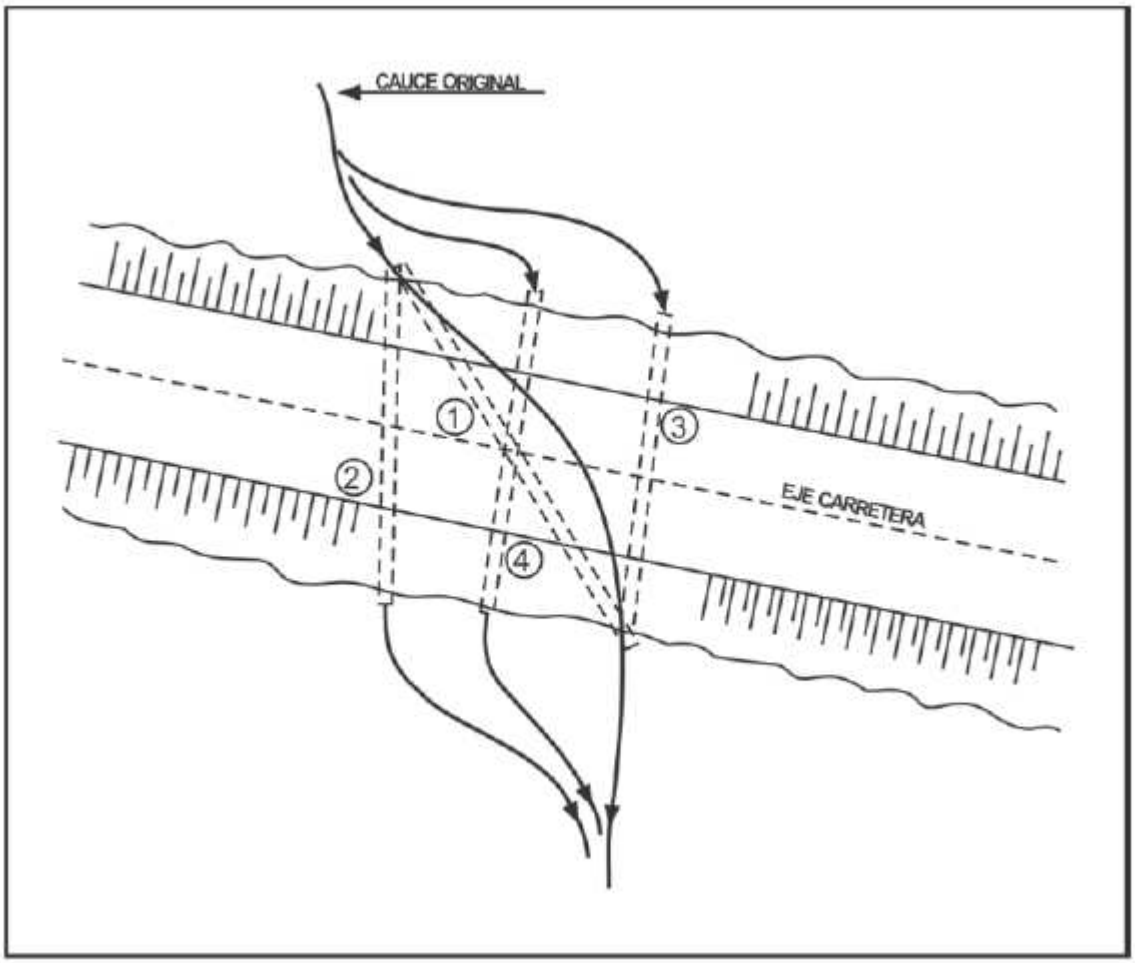
Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería de cruce propiamente dicho y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente.

Se proyectan en los cruces de corrientes, para desaguar pocetas o cajas colectoras de cunetas, filtros o zanjas de coronación, en los puntos bajos cuando el drenaje confluye hacia la vía y en los terraplenes proyectados en planicies inundables para permitir el paso de las aguas, evitando que el terraplén actúe como dique.

Con respecto al eje de la vía, las alcantarillas pueden ser preferiblemente normales aunque pueden presentar un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se conserva la dirección del drenaje natural o corriente. En los casos en que no se puede mantener el patrón de drenaje natural o resulte muy larga la estructura, es necesario proyectar la alcantarilla normal al eje de la vía o con un menor sesgo y construir las obras adicionales necesarias, tales como canales, que aseguren la entrega y la continuidad de la corriente intersectada por la vía.

[1] Capítulo 4 – Drenaje superficial. Instituto Nacional de Vías - Manual de Drenaje para Carreteras.

Figura N°01. Alternativas para localización en planta estructura hidráulica



Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, Instituto Nacional de Vías.

En cuanto a su alineamiento vertical, en general las estructuras hidráulicas deben conservar la pendiente de la corriente o del terreno natural. Asimismo, dicha estructura se deben proyectar con una pendiente mínima que garantice su auto limpieza.

CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño de la alcantarilla es el caudal que debe transportar la estructura. En el caso de alcantarillas que reciben cunetas, subdrenajes o bajantes, el caudal de diseño corresponde a los caudales captados por las estructuras aferentes.
Cuando se proyecta una batería de conductos iguales (igual diámetro, cota y pendiente), se puede asumir que el flujo o caudal se repartirá uniformemente entre las tuberías. Así, por ejemplo, si se proyectan dos tuberías, el caudal circulante por cada una de ellas será la mitad del caudal total de diseño.

ESTRUCTURAS DE ENTRADA

- ✓ **Aletas, cabezotes y soleras**

Los muros de cabecera o cabezotes y de aletas retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de la alcantarilla, además de dar estabilidad al extremo de la tubería al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de subpresión. Las aletas ayudan a guiar el flujo hacia la alcantarilla, mejorando su desempeño hidráulico. Su orientación y su longitud se proyectan para asegurar la entrada del flujo al conducto. Atendiendo al criterio hidráulico, un ángulo de 45º es ideal para las aletas.

Las placas de solera protegen la tubería contra la erosión, facilitan la entrada de agua al conducto y contrarrestan las fuerzas de subpresión.

ESTRUCTURAS DE SALIDA

Las estructuras de salida son transiciones entre la alcantarilla y la corriente receptora y, por lo tanto, sus criterios de diseño también se basan en el hecho de no alterar drásticamente los patrones de flujo del cuerpo de agua receptor (en cuanto a caudal y velocidad) y en no generar problemas de socavación.

- ✓ **ALETAS, CABEZOTES Y SOLERAS:** Como se expresó para las estructuras de entrada, las aletas cabezotes y soleras de salida cumplen una función hidráulica direccionando el flujo y disminuyendo la velocidad de salida, así como una función estructural conteniendo el terraplén o material de soporte y dándole estabilidad a la alcantarilla.

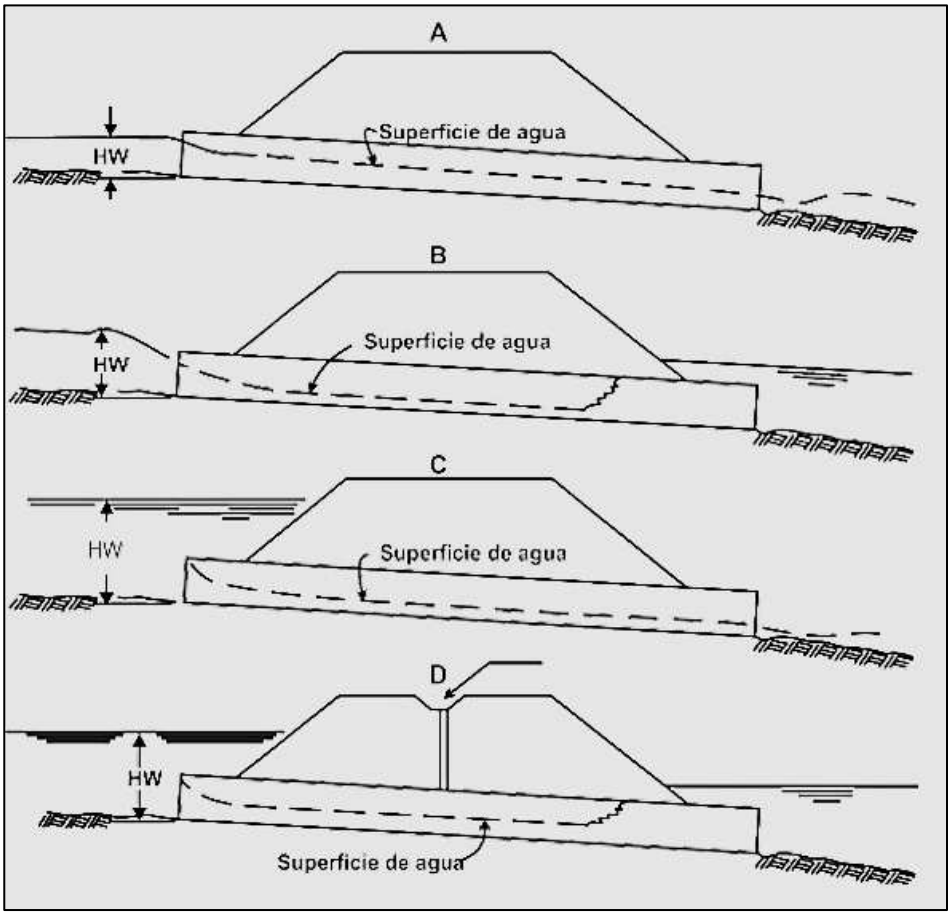
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

El flujo en una alcantarilla es usualmente no uniforme, presentando zonas con flujo gradualmente variado y zonas con flujo rápidamente variado, por lo que su análisis teórico es complejo y se ha desarrollado con ayuda de experimentación en laboratorio. De acuerdo al punto donde se encuentre la sección de control en la alcantarilla, el flujo puede ser con control a la entrada o con control a la salida y

dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto y la condición de flujo (a tubo lleno o parcialmente lleno), se presentan diferentes tipos de flujo, los cuales han sido clasificados por diferentes autores como Bodhaine, Henderson y Norman.

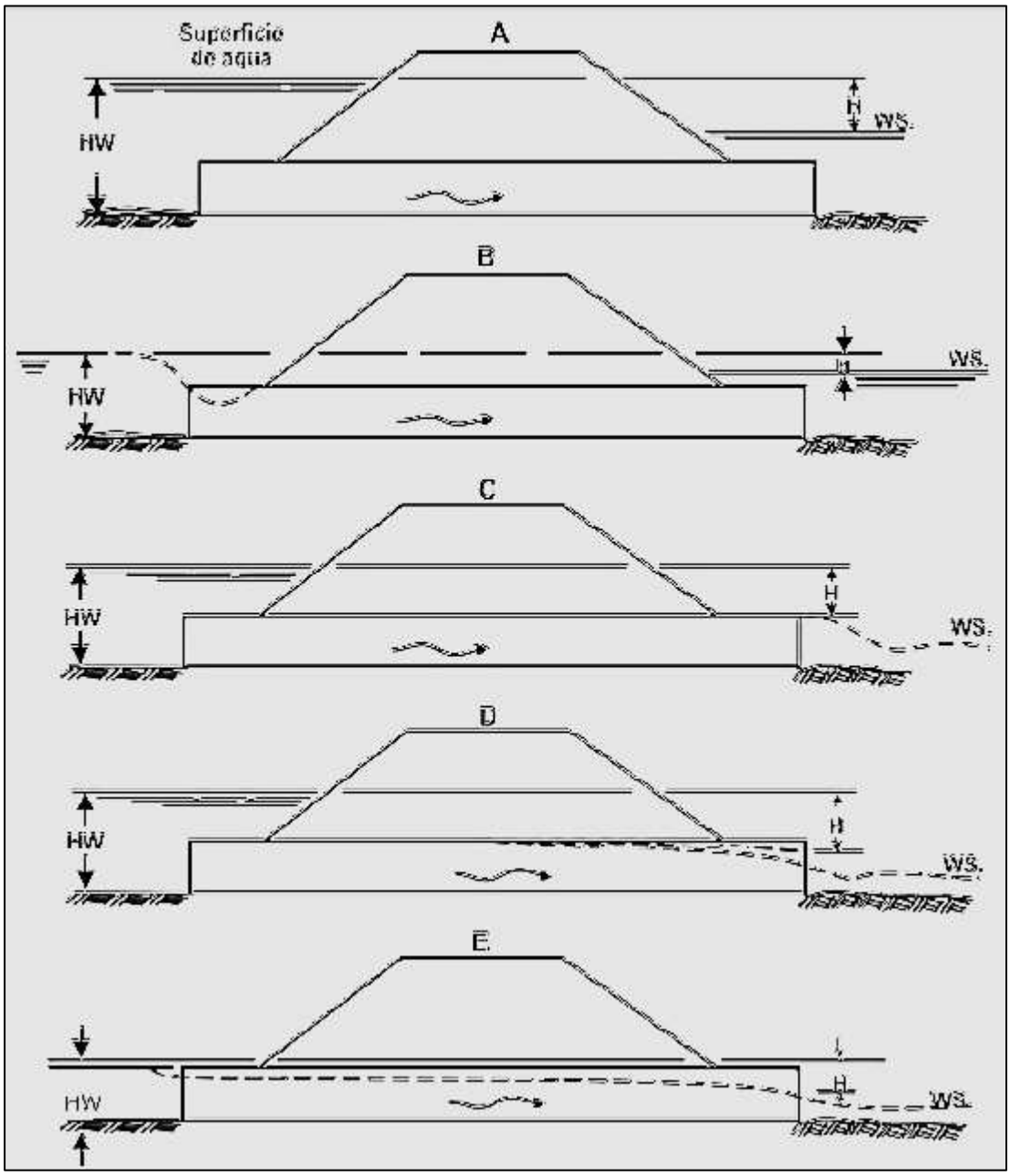
Dentro de las Condiciones de flujo en alcantarillas tenemos:

a. Control en la Entrada



Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, Instituto Nacional de Vías.

b. Control a la Salida



Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, Instituto Nacional de Vías.

Para el diseño, la condición ideal de flujo corresponde al caso A con control a la entrada, en el cual no existe sumergencia ni a la entrada ni a la salida; la altura crítica se encuentra en la entrada, siendo el flujo a superficie libre de tipo supercrítico, aproximándose a la altura normal en la salida de la alcantarilla.

CRITERIOS DE DISEÑO

- ✓ **Hidráulicos: carga a la entrada y velocidades en el conducto y descole del agua**

Las alcantarillas deben ser diseñadas con un nivel de agua a la entrada inferior a 1.20 veces la altura de la alcantarilla, pues se debe evitar el contacto de la estructura de pavimento con el agua, así como la afectación de las propiedades aguas arriba, además de proveerse un margen para el paso de material flotante y basuras. Así, en general y salvo las condiciones anotadas anteriormente (alcantarillas a presión), no es permitido el funcionamiento de las alcantarillas como orificio, evitando totalmente los desbordamientos sobre la vía.

- ✓ **Arrastre de sedimentos**

En las zonas en las cuales el arrastre de sedimentos por parte de la corriente es muy alto o las pendientes son muy altas e inestables y existen desprendimientos de detritos y rocas de gran tamaño, existen diferentes criterios para dimensionar las alcantarillas. El primero, consiste en proyectar una estructura de mayor tamaño a los requerimientos hidráulicos, que permita el paso de los materiales de arrastre; el segundo consiste en construir en la corriente o quebrada, aguas arriba de la estructura, una obra de retención del material de arrastre y el tercero consiste en reemplazar la alcantarilla por un pontón de gálibo suficiente para el paso del material.

Por otra parte, si por capacidad hidráulica se proyecta más de un conducto de forma paralela, se debe considerar el problema que se origina en los tabiques de separación de los conductos, pues en esta zona se acumulan sedimentos que pueden disminuir la capacidad hidráulica de la alcantarilla. Para reducir este problema, se pueden instalar los conductos a diferente altura, de manera que se concentren el flujo y los sedimentos por el conducto más bajo, dejando el otro conducto menos expuesto a la acumulación de sedimentos y basuras.
Estas estructuras múltiples son recomendables, entonces, cuando el arrastre de sedimentos es bajo y no se deben emplear si los materiales de arrastre son bolos o cantos rodados.

- ✓ **Pendiente del conducto o tubería**

La pendiente hidráulica de las alcantarillas se debe encontrar, en lo posible, entre 0.5% y 5% (La pendiente usual en alcantarillas es 2%), pudiendo alcanzar valores tales que no produzcan velocidades superiores a la admisible de acuerdo al material del conducto o que comprometan la estabilidad de la obra. Como recomendación, es necesario anclar la tubería mediante dentellones a partir de una pendiente de 20%.
Para pendientes superiores a la máxima permisible de acuerdo al criterio de velocidad, la alcantarilla se deberá proyectar como una estructura disipadora ya sea con un fondo liso y estructura de disipación o con un fondo escalonado.

La selección de estas últimas alternativas debe ser analizada desde los puntos de vista constructivos y de costos y comparada con la proyección de pontones, obras en que la pendiente de la corriente no es modificada.

- ✓ **Recubrimiento y longitud del conducto**

En la determinación de la sección transversal de una alcantarilla entran en consideración factores de recubrimiento y de mantenimiento. Para tuberías, el recubrimiento mínimo recomendado a clave es de 1.0 m, profundidad que sumada al diámetro mínimo de 0.90 m, implica una altura de descole o terraplén de cuando menos 2.0 m, profundidad difícil de alcanzar en zonas de terraplenes bajos o de topografías planas. En estos casos, el empleo de alcantarillas de cajón, con bajos recubrimientos, resulta más conveniente.

19. DIMENSIONES MÍNIMAS

De acuerdo a los caudales a manejar por cada tramo se evaluó cada estructura de drenaje tomando como referencia las especificaciones por el Instituto Nacional de Vías, INVIAS, para este tipo de obras, con el fin de dar un adecuado mantenimiento y limpieza a las estructuras. El criterio de velocidad máxima del agua para el caudal máximo instantáneo con el periodo de retorno seleccionado para las estructuras (alcantarillas) se definió con base en valores de velocidades máximas no erosivas usualmente tomados para el concreto, teniendo en cuenta en todo caso que con tales velocidades se removieran los sedimentos que puedan caer a tales estructuras. Las velocidades mínimas pueden ocurrir para caudales máximos instantáneos con periodos de retorno menores al de diseño, pero siempre existirá una remoción de sedimentos depositados en las estructuras una vez se produce un aguacero de importancia.

20. PERÍODOS DE RETORNO EN OBRAS DE DRENAJE VIAL

En la siguiente tabla se muestran los períodos de retorno para varios tipos de obra de drenaje vial.

Tabla 1. PERIODOS DE RETORNO PARA OBRAS DE DRENAJE VIAL

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (años)
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.90m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10m y menor de 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100
Drenaje sub-superficial	2

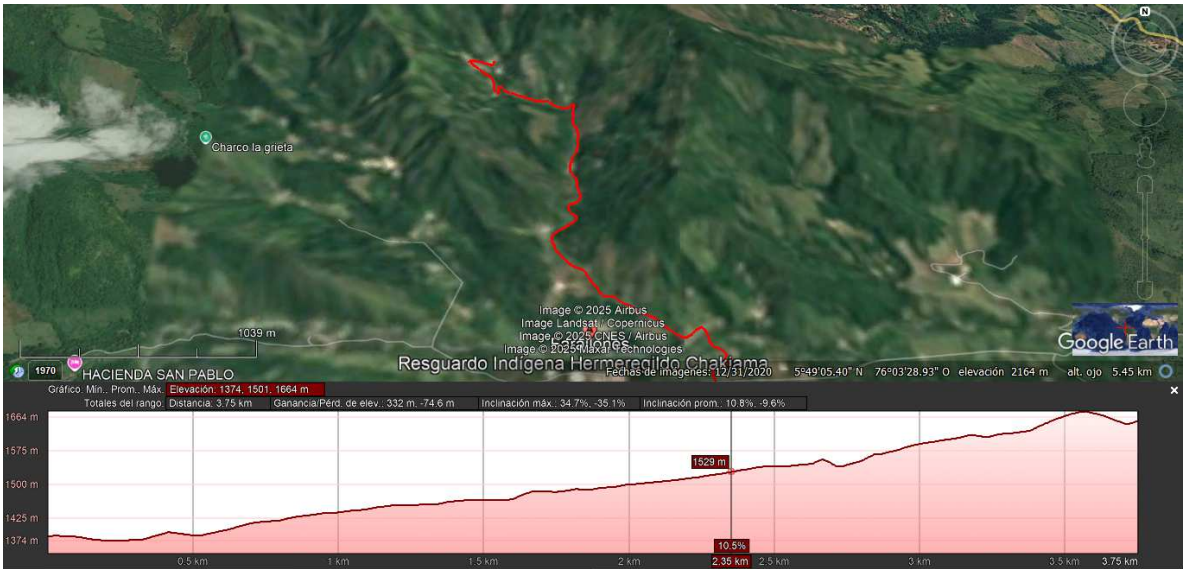
Fuente: Manual de Drenaje INVIAS.

CONSIDERACIONES

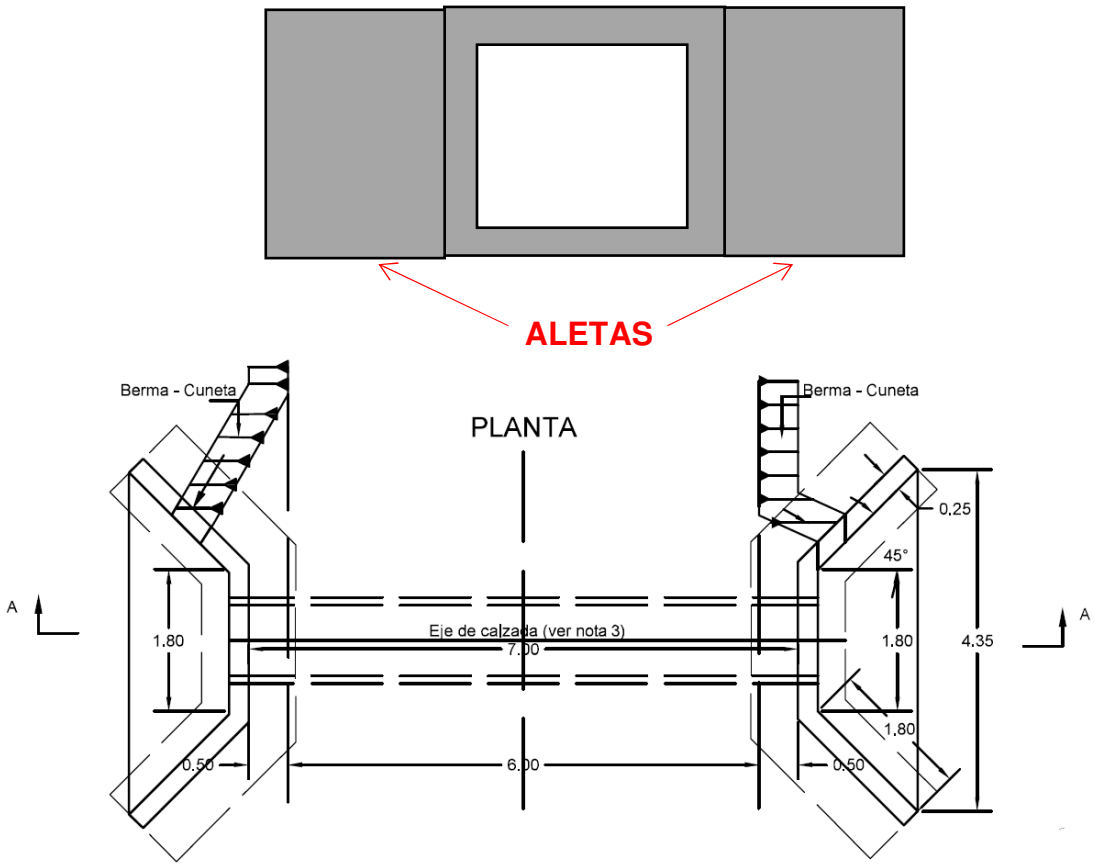
Teniendo un inventario de las obras hidráulicas existentes con su respectiva sección, ubicación geográfica, longitud y caudales correspondientes a cada áreas aferente; se determinó la capacidad hidráulica de estas.

Se ha considerado, para el análisis de las estructuras hidráulicas, una condición de altura de agua máxima a la entrada/altura de la obra igual a 1,2 en donde He/D = 1.2; además, considerando las velocidades dentro de la obra hidráulica inferior a 6 m/s. La obra existente, será hidráulicamente insuficiente de no cumplir con lo establecido anteriormente, optando por la ubicación de nuevas obras que permitan evacuar de manera eficiente los caudales en cada área de estudio. Se conservará la obra existente en la vía, siempre y cuando se encuentre en un buen estado estructural y cumpla la capacidad hidráulica.

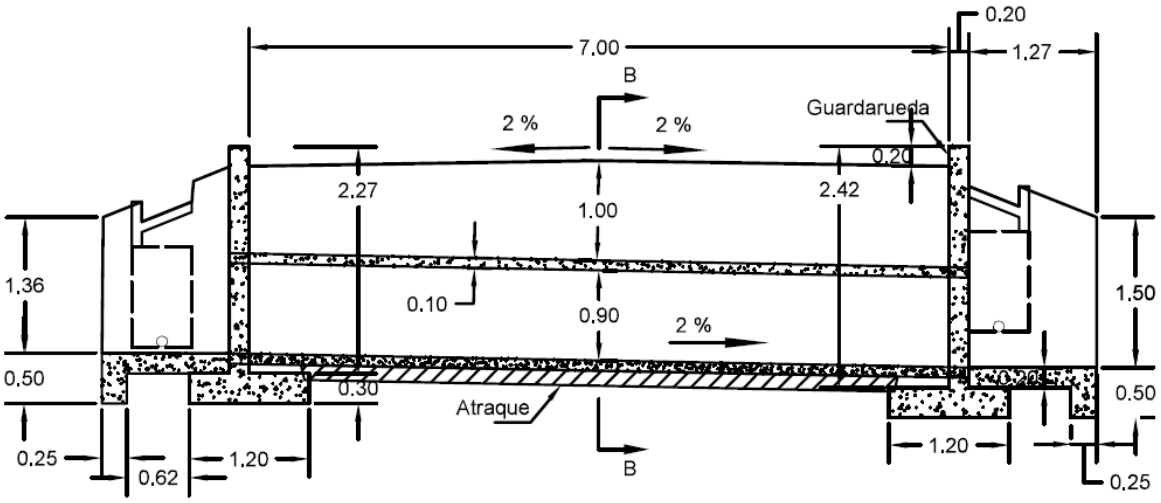
Para la estructura hidráulica se delimito un área aferente.



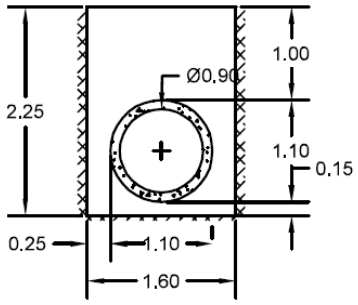
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS



CORTE A-A

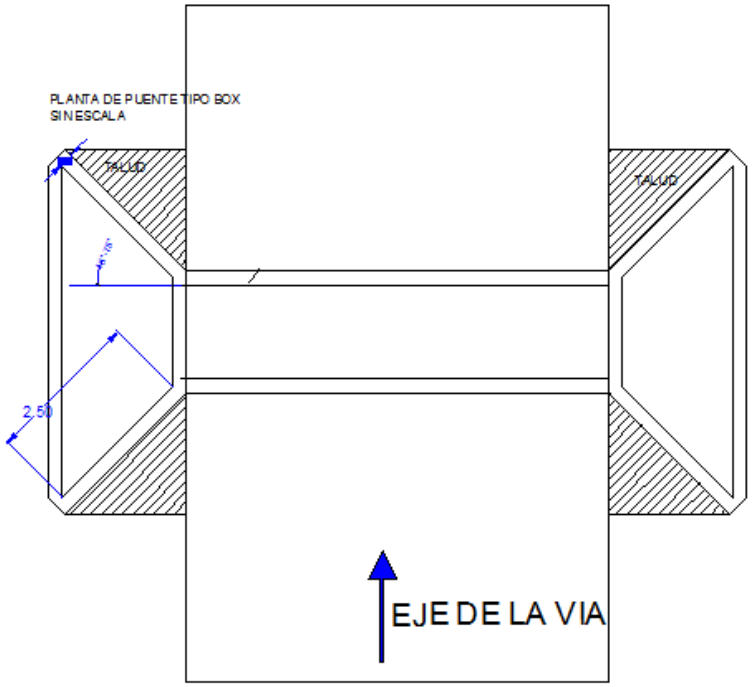


CORTE B-B



Fuente: Elaborado por el autor.

VISTA EN PLANTA



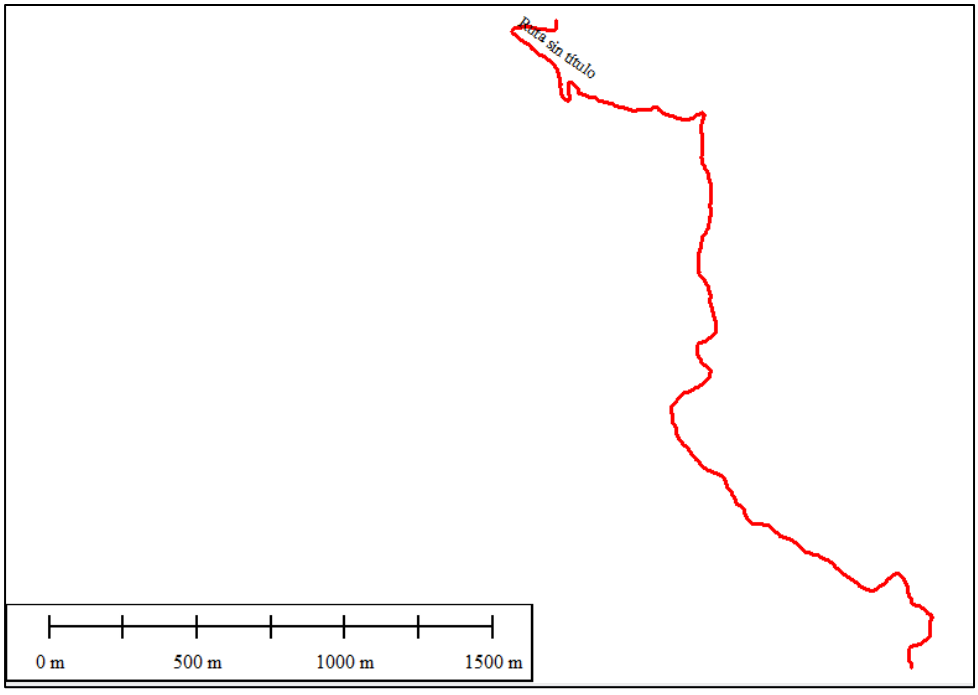
21. MEMORIAS DE CÁLCULO OBRAS DE DRENAJE

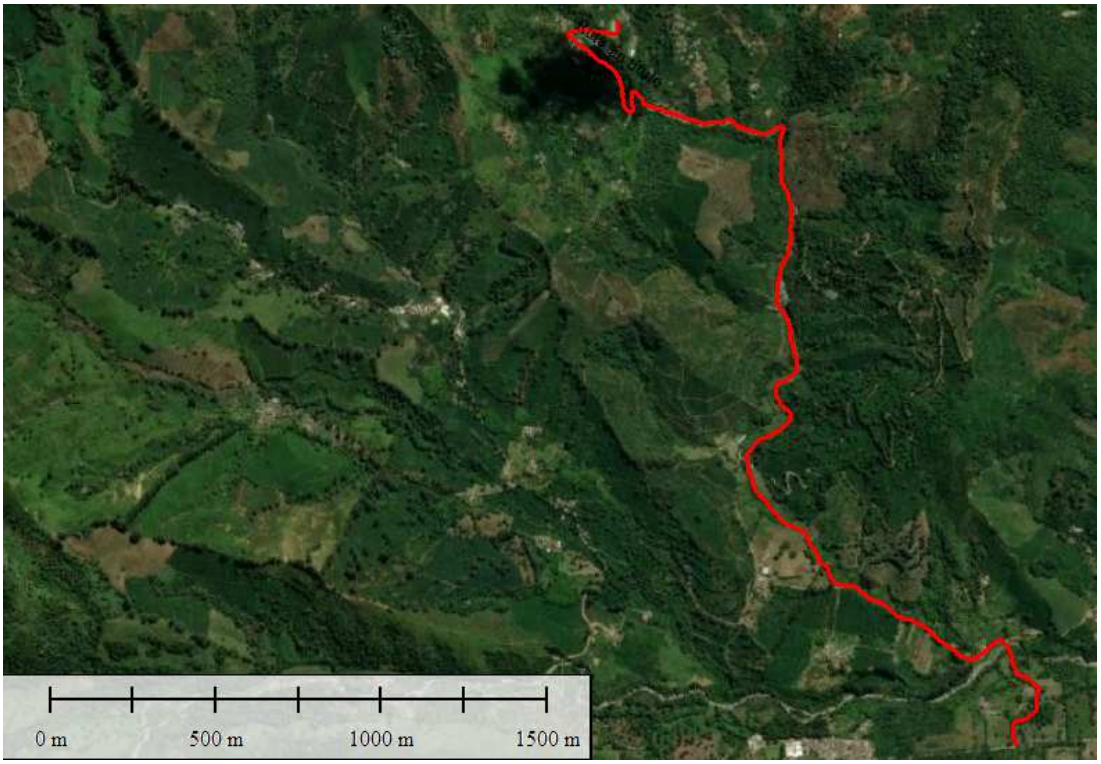
Q = Caudal en m³/s.
b = Ancho en m.
N = Rugosidad.
S = Pendiente en m/m.
P = Perímetro en m.
A = Área hidráulica en m².
Y = Tirante normal en m.
F = Número Froud.
R = Radio hidráulico en m.
V = Velocidad en m/s.
E = Energía Específica en m-kg/kg.

TRAMO	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS					
	b (m)	B (m)	H (m)	e (m)	n	Long.
	---	--	--	--	*0.014*	*3750*
Longitud Total						***3750***

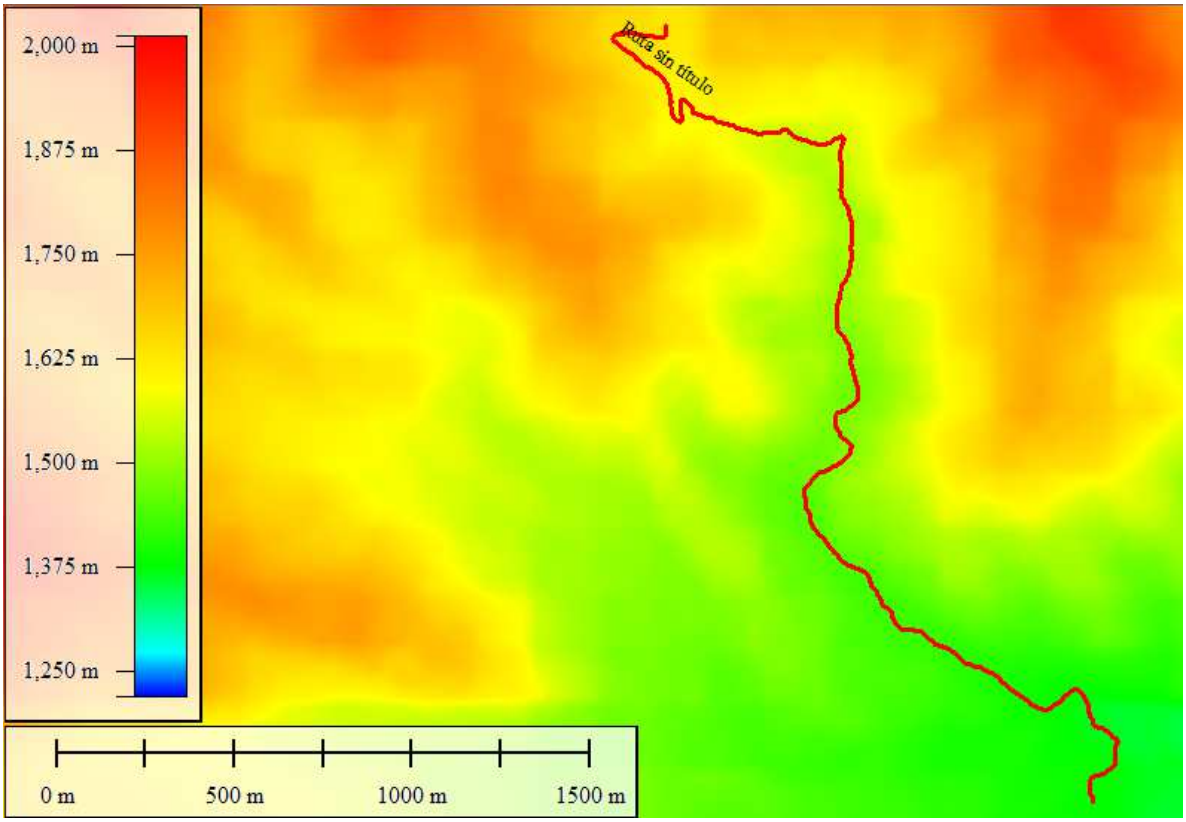
TIPO DE REVESTIMIENTO		
Tierra	*1*	*0.035*
Concreto	*2*	*0.014*
Emboq.	*3*	*0.025*

MODELACIÓN HIDRÁULICA

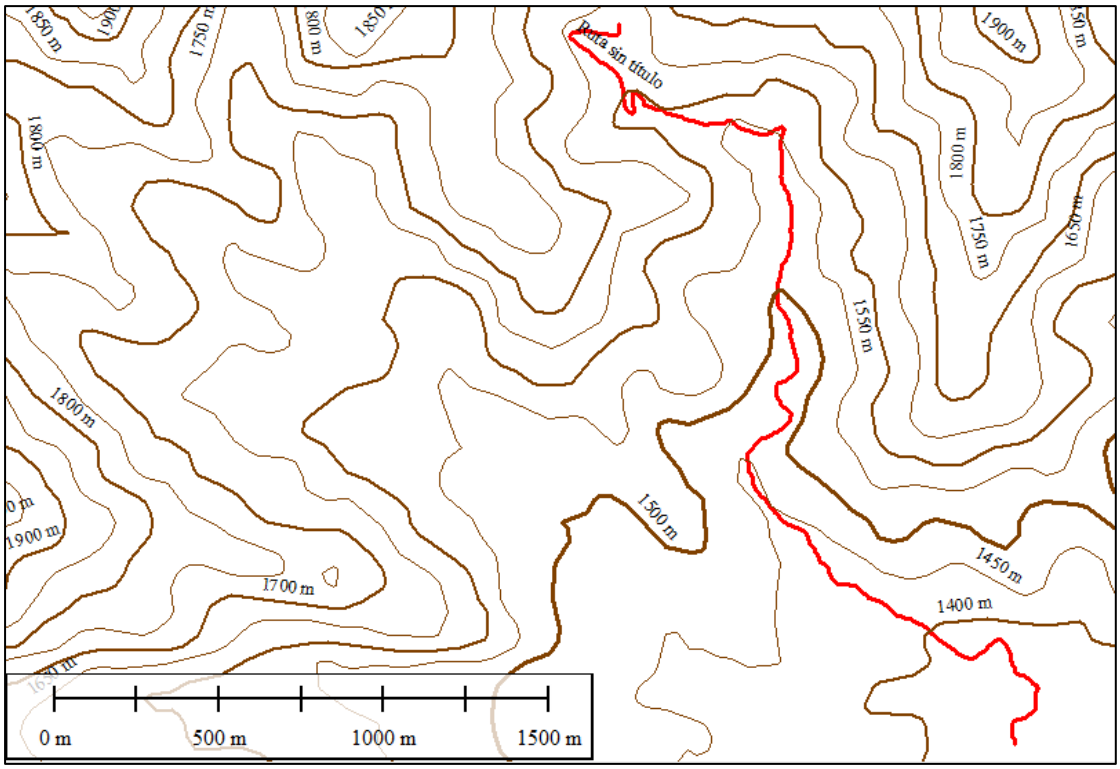




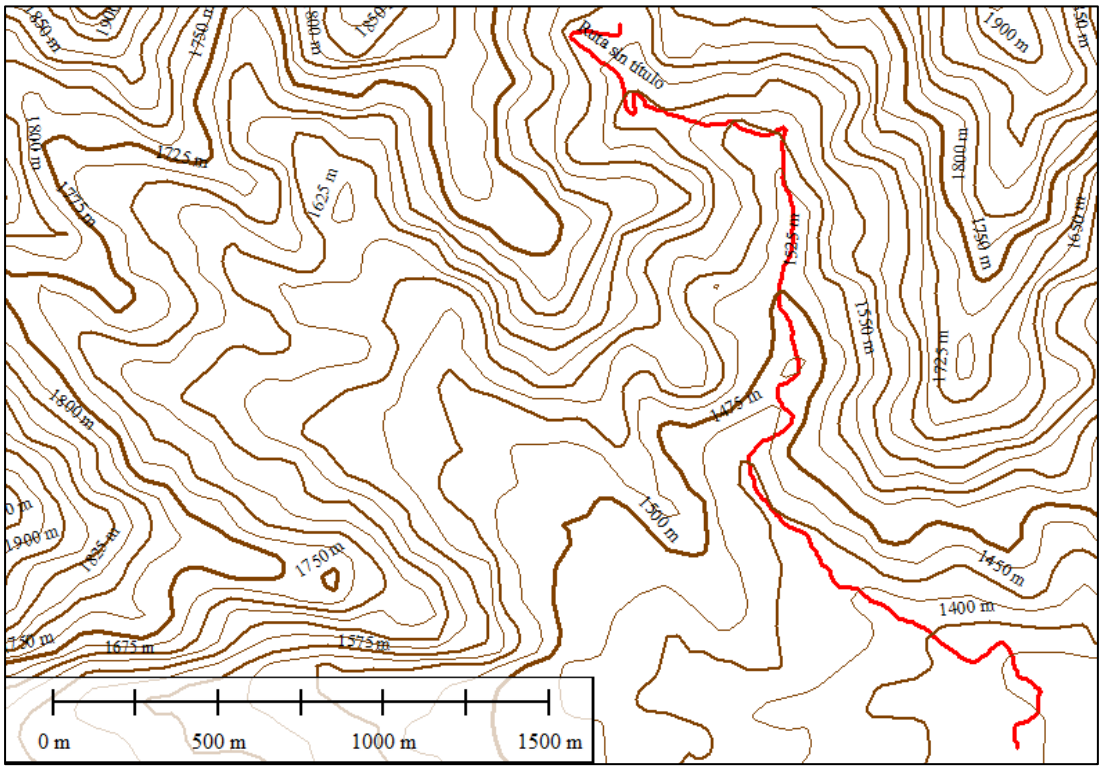
Modelo digital de elevación



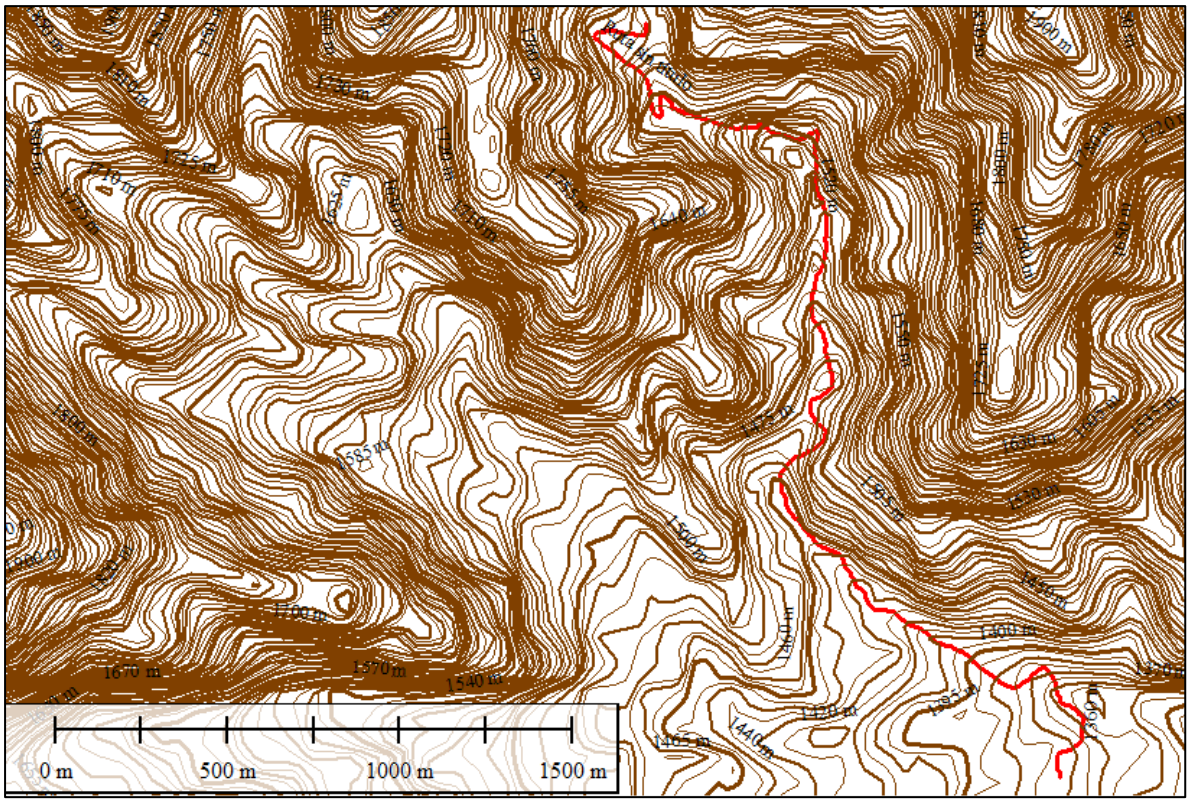
Curvas de nivel escala 50 m

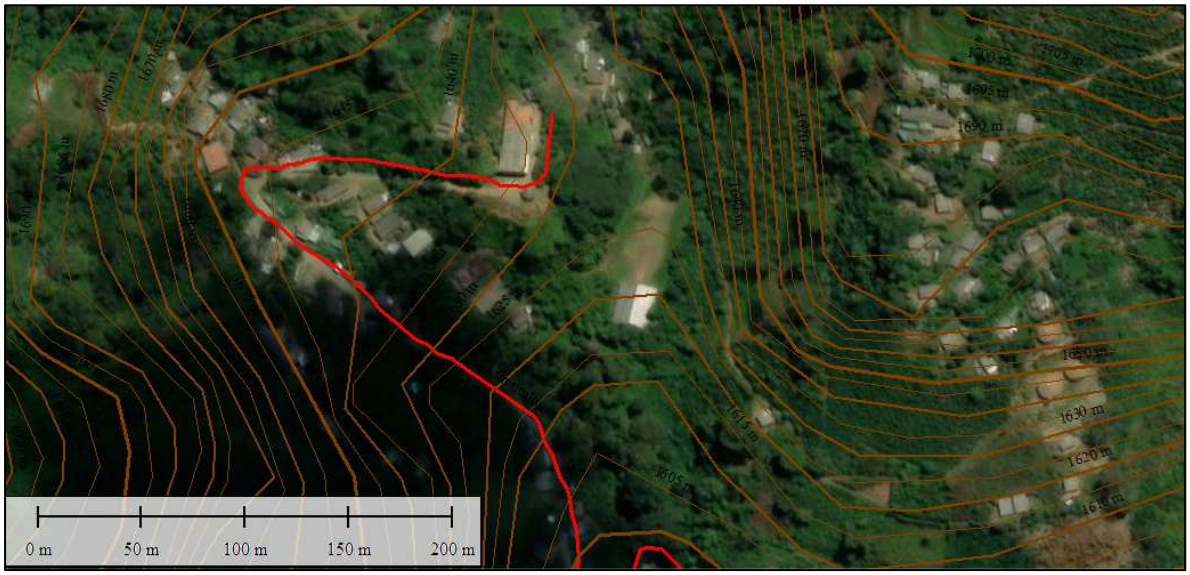


Curvas de nivel escala 25 m



Curvas de nivel escala 5 m







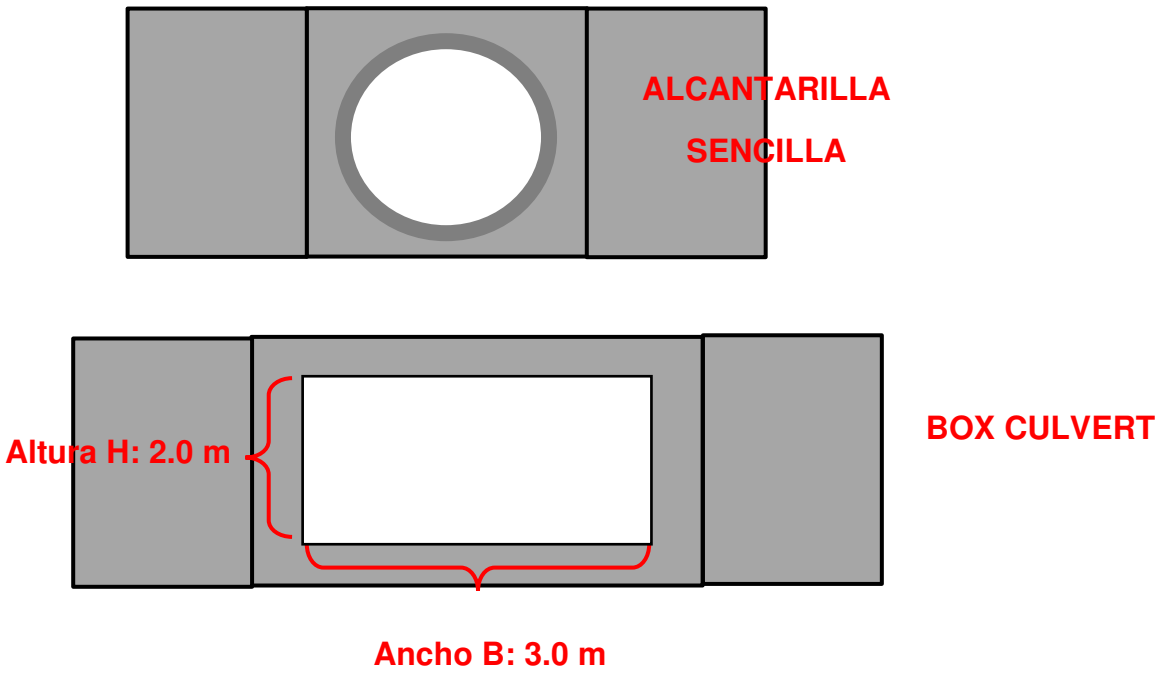
Fuente: Autor.

Se recomienda la construcción de las siguientes estructuras de drenaje para los puntos críticos identificados. De acuerdo al área de aporte, caudal, topografía y ubicación se recomienda la construcción de las siguientes obras de ingeniería y algunas recomendaciones para las estructuras existentes:

UBICACIÓN	ESTRUCTURA
K0+226	**Alcantarilla Sencilla (diámetro 36")**
K0+514	**Alcantarilla Sencilla (diámetro 36")**
K1+000	**Alcantarilla Sencilla (diámetro 36")**
K1+590	**Box Culvert H: 2.0 m – B: 3 m**
K1+900	**Alcantarilla Sencilla**

	(diámetro 36”)
K2+730	Box Culvert H: 2.0 m – B: 3 m
K3+000	Alcantarilla Sencilla (diámetro 36”)
K3+240	Box Culvert H: 2.0 m – B: 3 m

Las dimensiones mencionadas de cada estructura, son dimensiones internas. A continuación, se muestra una ilustración de las estructuras propuestas:



22. DISEÑO ESTRUCTURAS DE DRENAJE (CUNETAS)

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición.

Las cunetas construidas en zonas en terraplén protegen también los bordes de la berma y los taludes del terraplén de la erosión causada por el agua lluvia, además de servir, en muchas ocasiones, para continuar las cunetas de corte hasta una corriente natural, en la cual entregar.

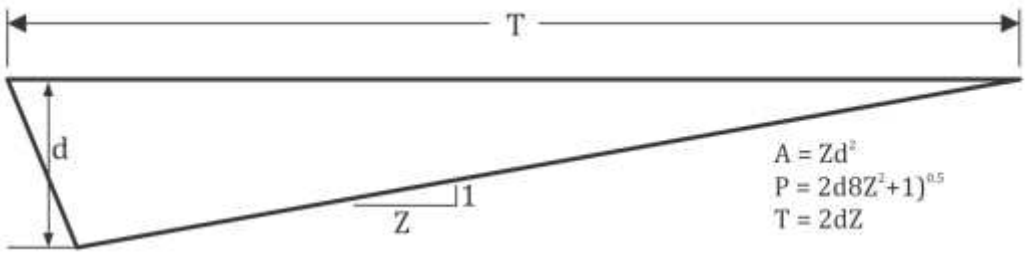
CAUDAL DE DISEÑO

Considerando que por lo general el área aferente a las cunetas es inferior a una hectárea (1.0 ha), debido a que el área aferente a la cuneta debe incluir la calzada o media calzada de la vía, más la proyección horizontal del talud de corte hasta la zanja de coronación. El coeficiente de escorrentía corresponderá al coeficiente ponderado de los diferentes tipos de área aportante, en función del tipo de suelo, de la cobertura y de la pendiente. En este caso se tomó un valor de 0.014.

TIPOS DE SECCIÓN Y SEGURIDAD VIAL

Para este proyecto se recomienda la implementación de cunetas triangulares.

Secciones cunetas típicas y propiedades geométricas.



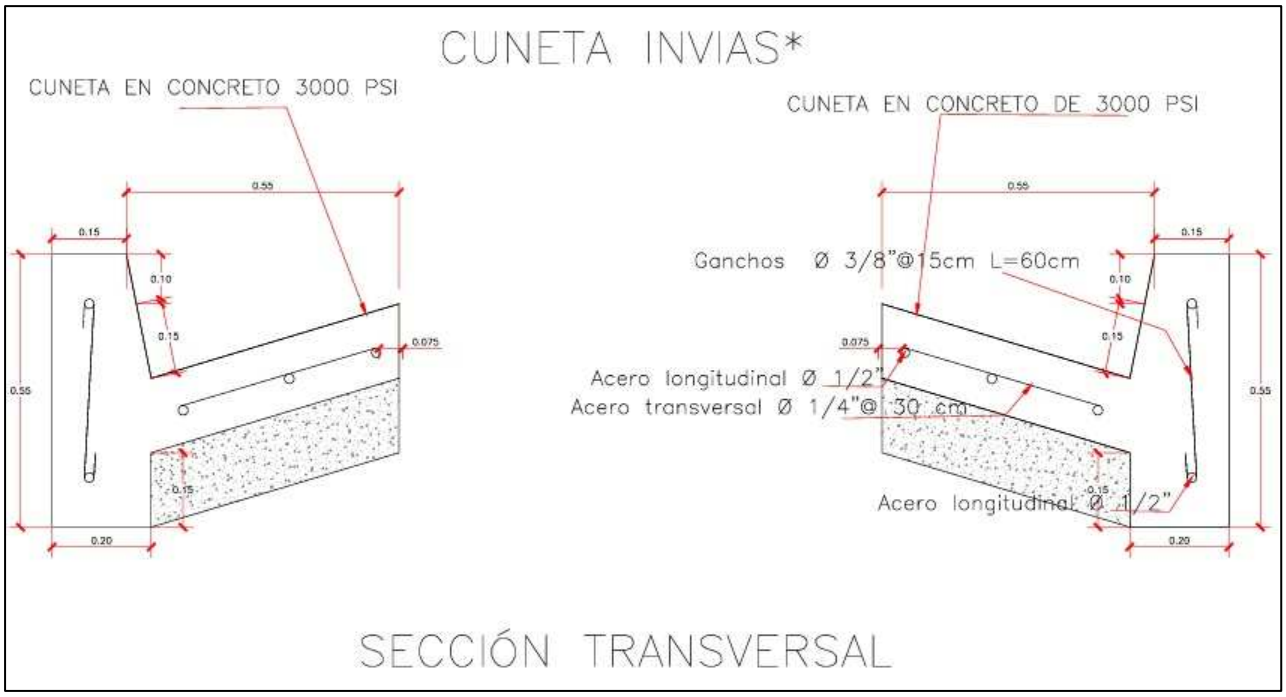
Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras. Cap. 4.

Tabla 12 Periodos de retorno para el diseño de la obras

Tipo de obra	Periodo de retorno (años)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de caídas	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor de 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: Manual de drenaje para carreteras INVÍAS

DIMENSIONES



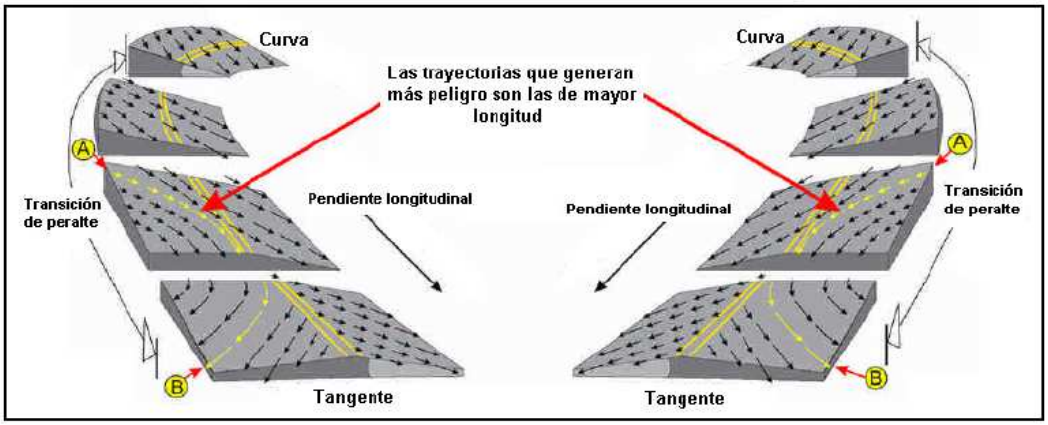
Para el tramo vial en estudio se tiene una cuneta tipo triangular, con un ancho de 55 cm y una profundidad total de 15 cm, revestido en concreto, con una rugosidad n = 0.014, pendiente longitudinal de 0.019 m/m, velocidad de flujo de 0.22 m/seg (favoreciendo la evacuación de sedimentos y protección de la estructura). Tipo de flujo supercrítico, numero de froude de 2,3. Espesor del revestimiento de 15 cm.

Las recomendaciones adicionales para el mantenimiento de la vía y sus obras de drenaje, son las siguientes:

- Se deberán llevar a cabo limpiezas periódicas de las obras de drenaje, con el fin de mantener un funcionamiento adecuado de estas, y así, no se produzcan remansos sobre la vía que ocasionen desbordes sobre la calzada.

- Aunque el consultor ha propuesto unas obras (box-culvert y Alcantarillas) que son consideradas suficientes para la evacuación de la escorrentía, y por ende del mantenimiento de la vía, el interventor evaluará la necesidad de hacer más obras o de relocalizar las recomendadas a medida que se presenten cambios de construcción. Siempre y cuando estas modificaciones estén soportadas técnicamente.

- Mediante el diseño geométrico proveer la vía con pendientes necesarias para la evacuación del caudal por escorrentía de la estructura de pavimento.



Fuente: Manual de Drenaje INVIAS.

- El material de apoyo por debajo del tubo no debe contener rocas de más de 3,8 cm de diámetro. Se podrá usar suelo arcilloso siempre que se compacte con un contenido de humedad aproximadamente igual a la humedad óptima.

- El material ideal para relleno es un suelo granular bien graduado o una mezcla de grava y arena bien graduada con no más del 10% de finos y libre de fragmentos de roca. En la siguiente figura, se muestra un esquema de la recomendación de garantizar en la instalación mínimo 30 cm de material granular compactado para evitar aplastamiento por el tránsito:

Figura 1. Instalación recomendada para alcantarillas.



Fuente: KELLER Gordon; SHERAR James; Ingeniería de Caminos Rurales Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Gestión de Caminos Rurales.

23. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que el tramo vial en estudio para la CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, presenta una precipitación máxima histórica en 24 horas de 141 mm, se identificaron los drenajes existentes, determinando así los tiempos de concentración y caudales para cada punto y se recomendaron las obras a construir en cada tramo vial donde es necesario.

Las condiciones presentadas en el presente estudio para la hidrología e hidráulica correspondiente a la zona que se delimitó como parte del proyecto. Se debe considerar de igual manera que cualquier obra propuesta debe conservar las características de la estructura propuesta. Toda modificación no acorde a las recomendaciones expresadas en este informe anula totalmente la responsabilidad del consultor frente al proyecto.



ALVARO RAFAEL MEJIA ACOSTA
Ing. Ambiental y Sanitario
M.P. N°20260-283317 CES.

BIBLIOGRAFIA

- Chow, V. T. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.
- Linsley, R. K., Franzini, J. B., Freyberg, D. L., & Tchobanoglous, G. (1992). Ingeniería de recursos de agua (4ta ed.). McGraw-Hill.
- Ponce, V. M. (1989). Engineering hydrology: Principles and practices. Prentice Hall.
- Ven Te Chow. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2010). Normas de diseño geométrico de carreteras en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). Manual de drenaje vial. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2018). Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Arboleda, J., & Mejía, A. (2015). Evaluación del impacto de la escorrentía en carreteras de zonas áridas. Revista de Ingeniería Civil y Ambiental, 10(2), 45-60.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2016). HEC-RAS River Analysis System (Version 5.0.3) [Software]. Hydrologic Engineering Center.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (1986). Urban hydrology for small **Otras Fuentes**
- IDEAM. (2022). Bases de datos climatológicas e hidrológicas de Colombia. https://www.ideam.gov.co/
- Google Earth. (2024). Imágenes satelitales del sur del departamento de La Guajira. https://earth.google.com/

MATRICULA PROFESIONAL CONSULTOR

El presente estudio estuvo dirigido por el Ingeniero **ALVARO RAFAEL MEJIA ACOSTA**, Especialista en Gestión Ambiental – Fundación Universitaria del Área Andina, con matrícula profesional N°20260-283317 CES.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA VÍA DE ACCESO AL RESGUARDO INDÍGENA HERMEREGILDO CHAKIAMA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2024-3103842]

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ALVARO RAFAEL MEJIA ACOSTA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1065644737, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA con MATRICULA PROFESIONAL 20260-283317 desde el 21 de Agosto de 2014, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1265.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veinticinco (25) días del mes de Octubre del año dos mil veinticuatro (2024).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA – COPNIA
Calle 78 Nº 9 - 57 - Teléfono: 322 0191 - Bogotá D.C.
e-mail: contactenos@copnia.gov.co
www.copnia.gov.co