SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA Y HÁBITAT GOBERNACIÓN DEL TOLIMA

CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 0001 DEL 17 DE ENERO DE 2024

"CONTRATAR LA CONSULTORÍA TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, FINANCIERA Y AMBIENTAL PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA PURACÉ - COYAIMA - CASTILLA EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA”

ESTUDIO HIDRÁULICO

IBAGUÉ, TOLIMA
2024

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 4
2 OBJETIVOS 5
2.1 Objetivo general 5
2.2 Objetivos específicos 5
2.3 Alcances 6
3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 7
4 ASPECTOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS 8
4.1. Análisis de Caudales 8
4.1.1 Método Racional. 9
5 ESTUDIOS HIDRÁULICOS 10
5.1 Análisis Obras de Arte existentes 10
5.2 Diseño de cunetas 12
5.2.1 Cunetas tipo 12
5.2.2 Estructuras hidráulicas tipo alcantarillas en las vías 14
5.2.3 Elementos de una alcantarilla 14
5.3 Análisis hidráulico obras transversales 19
5.3.1 Áreas tributarias alcantarillas 20
5.3.2 Análisis hidráulico de las estructuras de drenaje transversal. 22
5.3.3 Evaluación hidráulica del Boxculvert 1m x 2 m 29
6 DISEÑO OBRAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL 31
6.1 Periodo de retorno para obras de drenaje subsuperficial 31
6.2 Hidrología de la zona 32
6.3 Caudal de diseño 33
6.3.1 Caudal por infiltración 34
6.3.2 Caudal por nivel freático 34
6.3.3 Tramo de diseño 36
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
8 BIBLIOGRAFÍA 43

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones Cuneta triangular simétrica Tipo I. 12
Figura 4. Representación gráfica del sistema de encole al sistema de alcantarilla. 14
Figura 5. Representación gráfica del sistema de descole de la alcantarilla. 15
Figura 6. Representación gráfica en planta del sistema de descole de la alcantarilla. 15
Figura 7. Isométrico del sistema de descole de la alcantarilla 16
Figura 8. Representación gráfica del sistema de drenaje completo. 17
Figura 8. Perfil alcantarilla tipo. 18
Figura 9. Planta alcantarilla tipo. 18
Figura 9. Ubicación geografía de cuencas de estructuras de drenaje transversal. 20
Figura 10. Ubicación geografía de estructuras de drenaje transversal. 21
Figura 10. Modelación software HY-8 Alcantarilla 36 Pulgadas. 26
Figura 11. Resultados hidráulicos en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas. 26
Figura 12. Perfil en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas. 28
Figura 12. Comprobaciones hidráulicas estructuras de drenaje transversal. 31
Figura 15. Geodrén vial tipo para todos los tramos 38
Figura 16. Diagrama de posición de bordillos 39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Periodos de Retorno para las diferentes obras hidráulicas. 8
Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales 10
Tabla 3. Inventario obras existentes 11
Tabla 4. Tipo de Cuneta para los tramos de la vía. 13
Tabla 5. Listado de estructuras transversales finales 21
Tabla 6. Números de tipo de flujo HY-8 24
Tabla 8. Curvas IDF 32
Tabla 9. Valores de la Intensidad (i) en mm/horas calculadas para generar la curva IDF. 32
Tabla 10. Valores recomendados para Fi 34
Tabla 11. Valores recomendados para F_R 34

1 INTRODUCCIÓN

En las vías, el sistema de drenaje se compone de estructuras que facilitan la gestión adecuada de los fluidos. Es esencial considerar de manera precisa los procesos de captación, conducción, evacuación y disposición de los mismos. La falta de control del agua y otros fluidos en la infraestructura vial puede provocar el deterioro de las características geomecánicas, la transferencia de carga, las presiones de poros, las presiones hidrostáticas y las supresiones de flujo, lo que conlleva un aumento en los cambios volumétricos.

El propósito fundamental de estas estructuras es dirigir las aguas de escorrentía o flujo superficial hacia su destino final. Estas desempeñan un papel crucial en la protección del pavimento y la seguridad de los usuarios. El drenaje se posiciona como uno de los factores más destacados en el diseño de vías.

El agua superficial en las vías crea riesgos para el tráfico, especialmente en condiciones de heladas, causando erosión y filtración en la subrasante, debilitando el pavimento y sus bancas. Esto, a su vez, resulta en un aumento significativo de los costos de mantenimiento o rehabilitación.

Este documento aborda el componente de Hidrología e Hidráulica de las obras menores en los estudios y diseños destinados a mejorar el tramo de carretera que conecta la vereda Aparco. El enfoque de la Hidrología e Hidráulica busca obtener variables y criterios técnicos que permitan el diseño detallado de las obras hidráulicas en las vías objeto de estudio.

Los estudios se basan en información proporcionada por el IDEAM y datos de campo obtenidos a través de estudios como Topografía, entre otros. Se llevó a cabo un análisis de las obras de drenaje existentes en las calles, identificando aquellas que operaban de manera adecuada, y se establecieron criterios técnicos para la implementación de las obras hidráulicas necesarias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Realizar el análisis hidráulico necesario para realizar el diseño de los sistemas de drenajes para el mejoramiento de la vía Puracé - Coyaima - Castilla en el departamento del Tolima.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el área de estudio en los aspectos meteorológicos e hidrológicos que permitan establecer la línea base para la realización de los estudios hidráulicos.

- Realizar el diagnóstico del estado actual del tramo y obras hidráulicas.

- Estudiar la solución para realizar la conducción del agua superficial de la vía al cuerpo de agua más cercano, o en su defecto más favorable topográficamente sin generar impacto ambiental.

- Establecer las variables hidrológicas que permitan estimar valores de caudales de diseño con ayuda de la información primaria y secundaria recopilada.

- Establecer el volumen de agua superficial y sub-superficial en el área de influencia del proyecto.

- Definir los criterios técnicos para establecer el dimensionamiento de las obras de drenaje mayores y menores (sumideros, alcantarillas, descoles) entre otras.

2.3 Alcances

Los estudios hidrológicos e hidráulicos se realizaron dentro de los alcances establecidos para el presente estudio, así:

- Revisar la capacidad hidráulica de las obras de drenaje tanto mayores como menores a partir de los caudales máximos obtenidos en el estudio hidrológico.

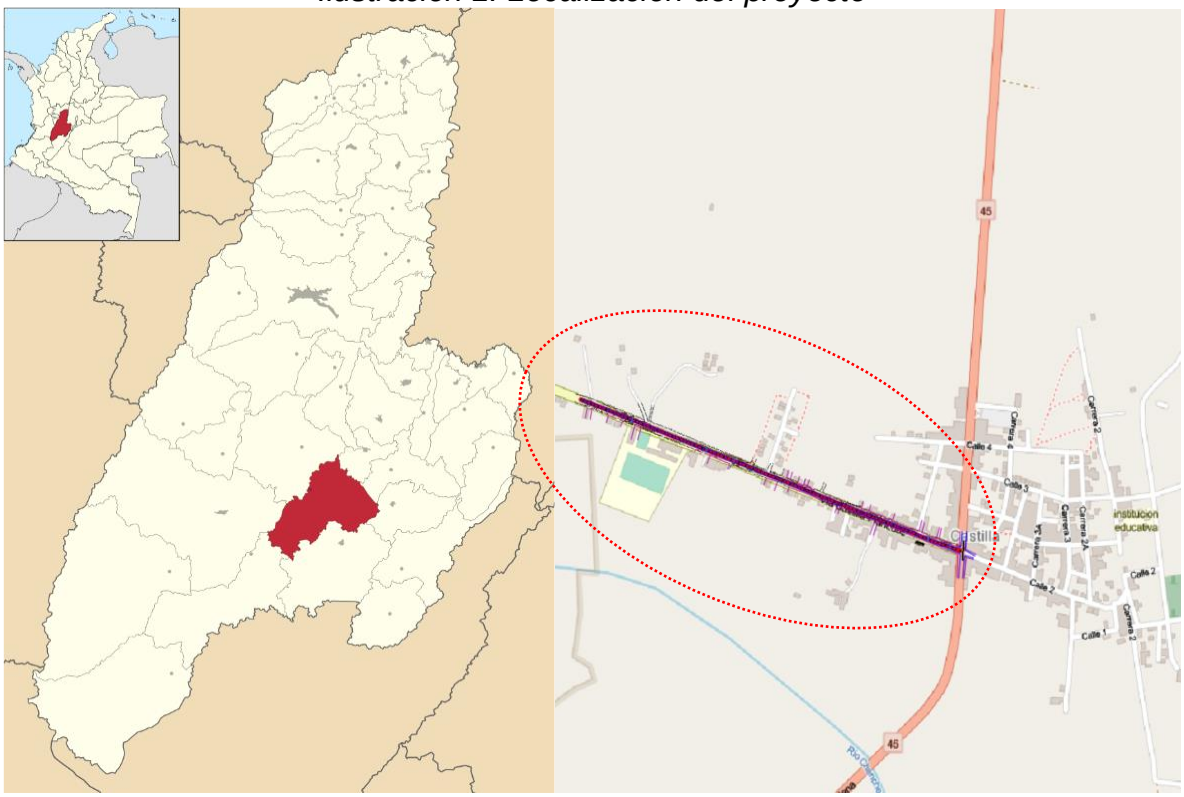
- Determinar la localización de las obras de drenaje y sub-drenaje, como resultado del análisis de las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidráulicas, de diseño geométrico, cobertura vegetal, uso del suelo y por condiciones antrópicas.

- Realizar el diseño del drenaje de la corona que garantice excelente visibilidad y evite entre otros el hidroplaneo.

3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El tramo se encuentra ubicado en el municipio de Coyaima sobre el cruce con la vía nacional tramo 4507.

Ilustración 1. Localización del proyecto



Fuente: Propia

4 ASPECTOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

En las carreteras, los sistemas de drenaje son obras que facilitan el manejo adecuado de los fluidos. Es preciso e indispensable considerar los procesos de captación, conducción, evacuación y disposición de estos. La falta de control del agua y fluidos en general, en la estructura de una carretera, deteriora la misma en la parte inferior de la estructura, por lo cual se procede a realizar el cálculo de una estructura de captación que se encargue aparte de captar conducir el agua hasta un sistema de control.

4.1. Análisis de Caudales

Debido a la falta de información de caudales para las estaciones enunciadas con anterioridad, para el respectivo análisis de las obras de tipo hidráulico presentes en el proyecto, se hace indispensable realizar un modelo de lluvia-escorrentía. Para obtener dichos estudios producto de la información hidrológica y meteorológica recopilada. Para las cuencas con áreas menores o iguales a 2.5 km2 se usó el método racional y para las cuencas con áreas mayores a 2.5 km2 hasta 100 km2 se usó el hidrograma unitario triangular del Soil Conservation Service SCS.

El período de retorno se estableció dependiendo del tipo de la obra, del costo de la misma y de su importancia relativa respecto al tamaño de la cuenca (y por lo tanto asociado a la magnitud de los daños en caso de fallar la capacidad hidráulica de la obra), tal como se enuncia en el manual de drenajes para carreteras del INVIAS y se presenta en la Tabla 11.

Tabla 1. Periodos de Retorno para las diferentes obras hidráulicas.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m 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 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

4.1.1 Método Racional.

El método racional se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q = C * i * A$$

Donde Q es el caudal pico producido por un aguacero de intensidad i, uniformemente distribuido sobre el área de la cuenca, A. El termino C se denomina "coeficiente de escorrentía" y su valor numérico, que está definido entre 0 y 1, depende de las características fisiográficas de la cuenca y la cobertura de suelo (Silva, 1987).

Si las variables A, I y Q se expresan en unidades el sistema internacional, es decir, km2, mm/h y m3/s respectivamente, la ecuación del método racional se puede expresar de la siguiente forma:

$$Q = 0.278 * C * i * A$$

Usando la anterior ecuación se estimaron los caudales máximos para las cuencas con áreas menores o iguales a 2.5 km2, para ello, se delimitaron las áreas aferentes de las cuencas que drenan en la zona de estudio.

Se deben asociar dichas áreas con sus coberturas vegetales y sus usos del suelo, con el fin de determinar los respectivos coeficientes de escorrentía C, que tienen como base las características de cobertura de la zona, las condiciones edafológicas, las condiciones topográficas y las de uso del suelo. Este coeficiente se estima a partir de tablas encontradas el Manual de Drenaje para carreteras del INVIAS.

Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA	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 valores para pendientes entre el 10 y el 30%.

5 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

En el presente capítulo se mostrarán los estudios hidráulicos orientados hacia el manejo del agua tanto de escorrentía de las áreas de aporte, como de los drenajes naturales aferentes a la zona de estudio. Para ello se realiza el correspondiente análisis de las obras de arte existentes en la vía, así como de las obras a implantar, todo esto en función de garantizar un adecuado manejo del agua en el proyecto vial.

5.1 Análisis Obras de Arte existentes

Se llevó a cabo una inspección en el tramo vial bajo estudio, durante la cual se realizó un inventario detallado de cada una de las estructuras hidráulicas presentes. Los resultados de esta inspección se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3. Inventario obras existentes

ABSCISA	NUMERO	Box/Alc	Dimensiones Ducto	Material	ESTADO
K0+027.97	*Alc # 1*	*ALCANTARILLA*	*24"*	*CONCRETO*	*Mal estado*
K0+086.50	*Alc # 2*	*ALCANTARILLA*	*24"*	*CONCRETO*	*Mal estado*
K0+612.82	*Alc # 3*	*ALCANTARILLA*	*24"*	*CONCRETO*	*Mal estado*
K0+687.30	*Alc # 4*	*ALCANTARILLA*	*24"*	*CONCRETO*	*Mal estado*
K0+888.30	*Alc # 5*	*ALCANTARILLA*	*24"*	*CONCRETO*	*Mal estado*

Las alcantarillas con diámetros menores a 36 pulgada o que no cumpla los requisitos de dimensiones mínimas establecidos en el numeral 4.4.5.2. del Capítulo 4 del Manual de Drenaje para Carreteras de INVÍAS. Según este manual, el diámetro mínimo para las alcantarillas destinadas al desagüe de cunetas, filtros y zanjas de coronación debe ser de al menos 0.90 metros. En consecuencia, se hace necesario sustituir aquellas alcantarillas cuyo diámetro sea inferior a 0.90 metros o 36 pulgadas.

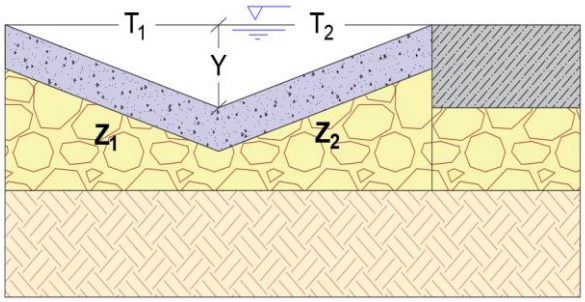
5.2 Diseño de cunetas

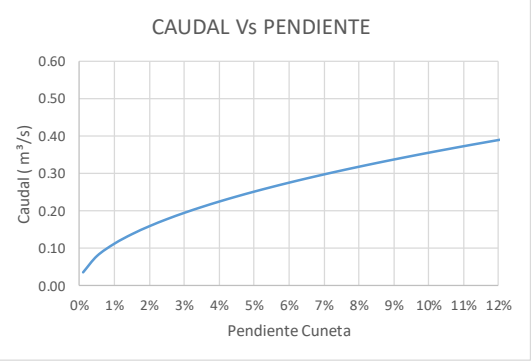
5.2.1 Cunetas tipo

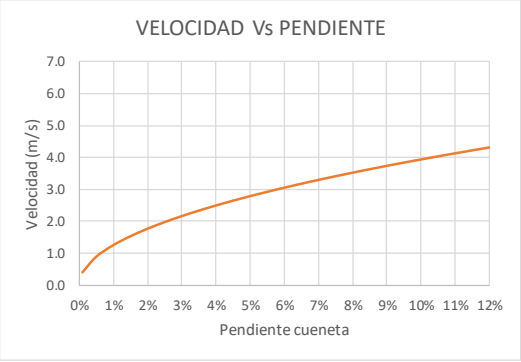
En función de los criterios establecidos en los volúmenes de Diseño Geométrico y los Estudios de Tránsito, se estableció como una alternativa óptima una cuneta de ancho de 1.20 m para la estructura tipo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Dimensiones Cuneta triangular simétrica Tipo I.

S =	0.50%	*Pendiente*
n =	0.014	*Numero de manning*
Y =	0.15	*Profundidad (m)*
T1 =	0.60	*Ancho menor (m)*
T2 =	0.60	*Ancho mayor (m)*
z1 =	4.000	*Pendiente externa*
z2 =	4.000	*Pendiente interna*
T =	1.200	*Tirante (m)*
A =	0.090	*Area de flujo (m)*
P =	1.237	*Perimetro mojado (m)*
R =	0.073	*Radio hidraulico (m)*
Q =	0.079	*Caudal cuneta (m³/s)*
V =	0.880	*Velocidad Cuneta (m/s)*







Para el cálculo de la cuneta se estableció un área de aporte en función de la topografía y la cartografía disponible, así como el área correspondiente a la mitad de la calzada, con el fin de estimar el caudal que esta estructura transportaría.

En cuanto al análisis hidráulico se adoptó como criterio el que su capacidad deberá ser suficiente para evacuar los caudales aportados por la vía y las áreas aferentes a la misma para una lluvia con período de retorno de 5 años, tal como lo determina el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS. Esta capacidad fue estimada mediante la ecuación de Manning (1889) para la sección de las cunetas.

Se adopta inicialmente un diseño de cuneta de un ancho de 0.50 m (TIPO I).

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

Q	= Caudal.	(m3/s).
A	= Área hidráulica de la cuneta.	(m2).
S	= Pendiente de la vía.	(m/m).
n	= Rugosidad, 0.014 para el concreto.	

Como resultado se obtienen los tramos en los cuales se hace uso de cada una de las secciones de Cuneta, cumpliendo con la capacidad hidráulica dada por las pendientes y comparada con el caudal de aporte.

Tabla 4. Tipo de Cuneta para los tramos de la vía.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE CUNETAS																
INFORMACIÓN INICIAL									CAUDAL DE DISEÑO				EVALUACIÓN HIDRÁULICA			
Tipo de Cuneta	Referencia	Abscisas		coeficiente de escorentia (C)	Pendiente Cuneta	Pendiente Terreno (S)	Longitud Escorrentia (L)	Numero Manning	Longitud Cuneta	Caudal Diseño	Caudal Área Aferente	Caudal Diseño	Caudal cuneta totalmente llena	Altura lamina agua Qd diseño	Relación de caudales	CUMPLE
		Inicio	Final		s	(%)	(m)	n	(m)	Qd (L/s)	Qd (m³/s)	Qd (m³/s)	Q (m³/s)	y (m)	Qd/Q	
Tipo 1	Inicio	K0+000.00	K0+027.97	0.80	1.19%	1.19%	28	0.0140	28	49.36	0.049	0.049	0.122	0.11	40%	Ok
Tipo 1	Alcantarilla #1	K0+027.97	K0+086.50	0.80	0.15%	0.15%	59	0.0140	59	41.32	0.041	0.041	0.043	0.15	95%	Ok
Tipo 1	Alcantarilla #2	K0+086.50	K0+318.86	0.66	2.61%	1.10%	232	0.0140	232	112.30	0.112	0.112	0.181	0.13	62%	Ok
Tipo 1	Punto Max	K0+318.86	K0+612.80	0.60	0.64%	1.10%	294	0.0140	294	81.19	0.081	0.081	0.090	0.14	91%	Ok
Tipo 1	Alcantarilla #3	K0+612.80	K0+687.60	0.66	0.64%	1.10%	75	0.0140	75	43.56	0.044	0.044	0.090	0.11	49%	Ok
Tipo 1	Alcantarilla #4	K0+687.60	K0+888.70	0.66	0.81%	1.10%	201	0.0140	201	97.19	0.097	0.097	0.101	0.15	96%	Ok
Tipo 1	Alcantarilla #5	K0+888.70	K1+011.00	0.66	0.81%	1.10%	122	0.0140	122	71.22	0.071	0.071	0.101	0.13	71%	Ok

5.2.2 Estructuras hidráulicas tipo alcantarillas en las vías

Las alcantarillas, son estructuras de evacuación de las aguas de escorrentía. Generalmente, un conducto que cruza por debajo de la vía, por lo tanto, su sección geométrica puede ser circular.

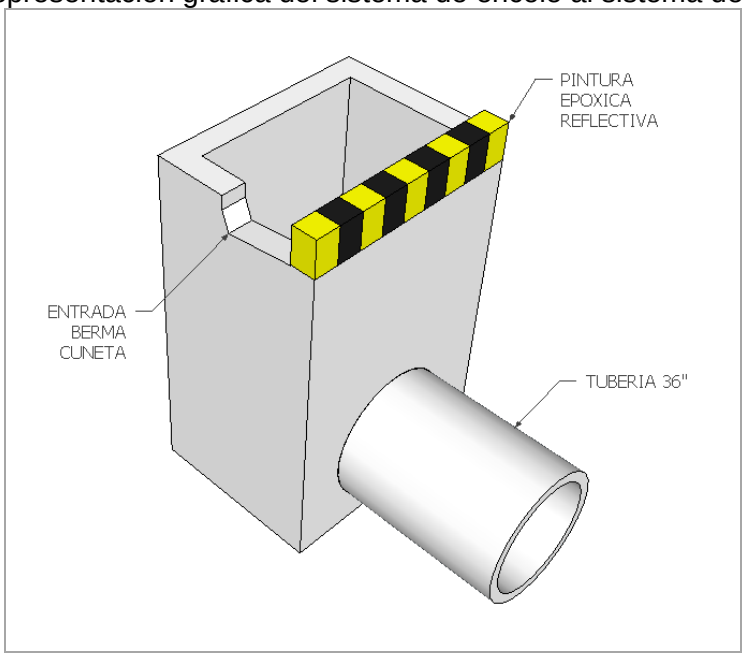
El diseño debe determinar la sección más económica, que permita el flujo del caudal máximo, sin exceder la carga máxima a la entrada, llamada cota o nivel.

5.2.3 Elementos de una alcantarilla

Encole

Es la estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la entrada de las obras de drenaje, y así entregar de manera segura el agua a la tubería de la alcantarilla.

Figura 2. Representación gráfica del sistema de encole al sistema de alcantarilla.



Fuente: Consultor.

5.2.3.1 Estructura de entrada

Se refiere a todas las obras construidas con el fin de conducir el flujo hacia la tubería y de estabilizar el terraplén de la vía y/o el terreno natural, tales como: aletas, solado, muro cabezal, etc.

5.2.3.2 Muro cabezal

Tiene como finalidad contener el material que sirve como estructura de la via, asi como de protección de la tubería.

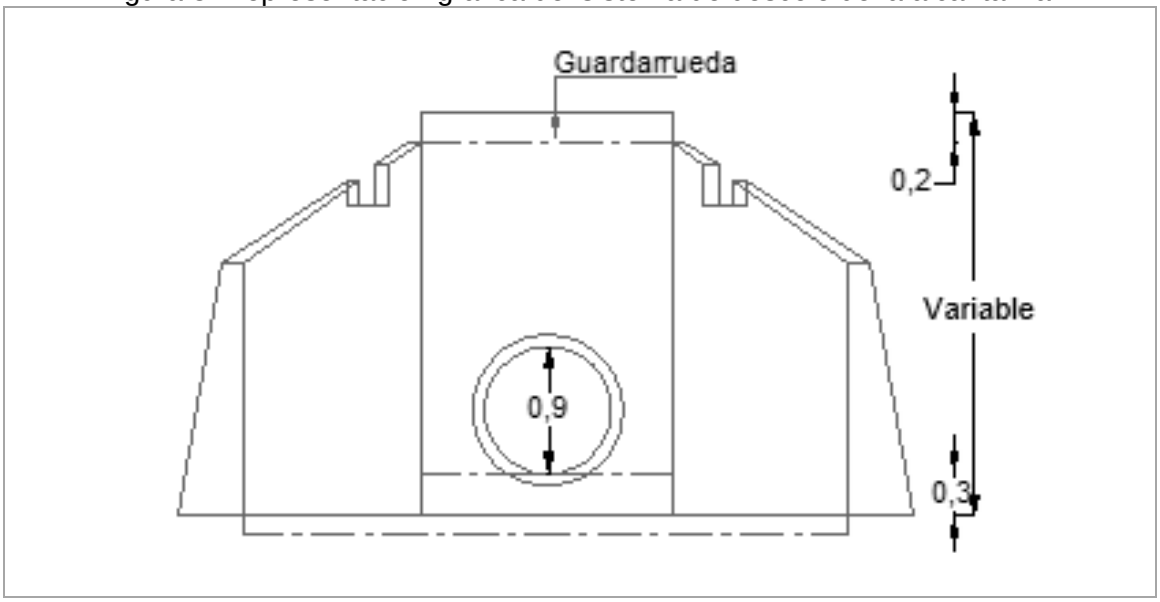
5.2.3.3 Aletas

Se utilizan para contener los taludes que conforman el terraplén de la via y/o el terreno natural.

5.2.3.4 Tubería

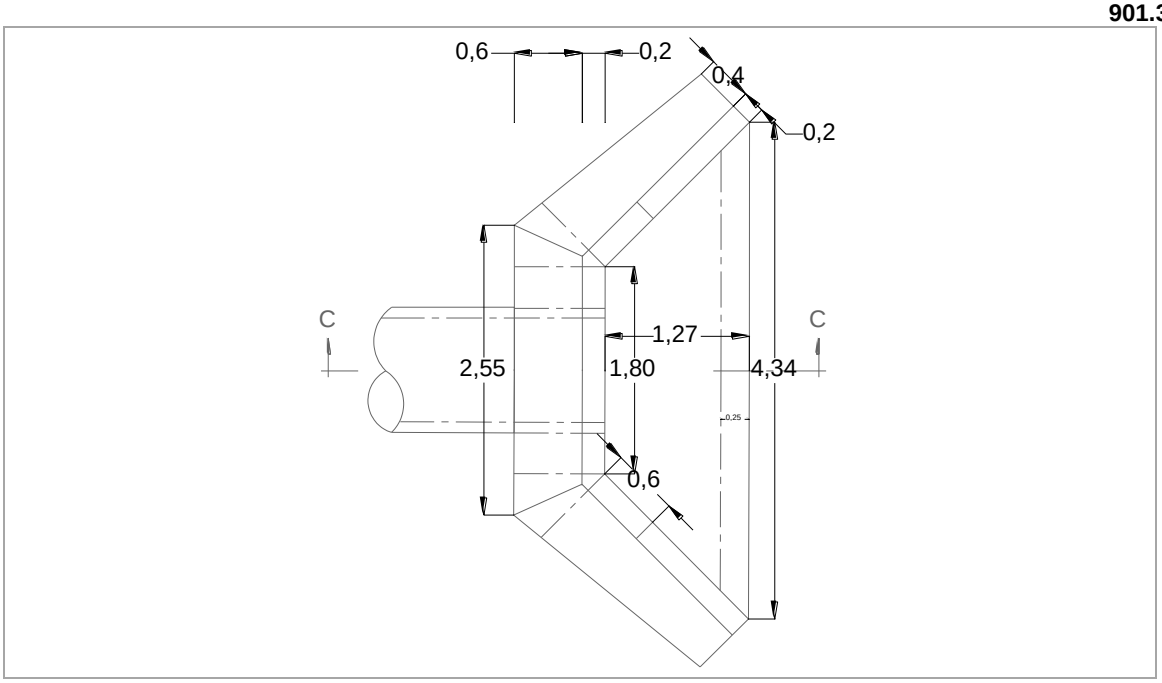
Puede ser de concreto o laminas metálicas, especialmente de acero. Tiene como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar los materiales que componen la estructura de pavimento. Los extremos de los tubos y el diseño de las juntas, deben garantizar un encaje adecuado entre secciones, de manera que formen un conducto continuó, libre de irregularidades en la línea de flujo.

Figura 3. Representación gráfica del sistema de descole de la alcantarilla.



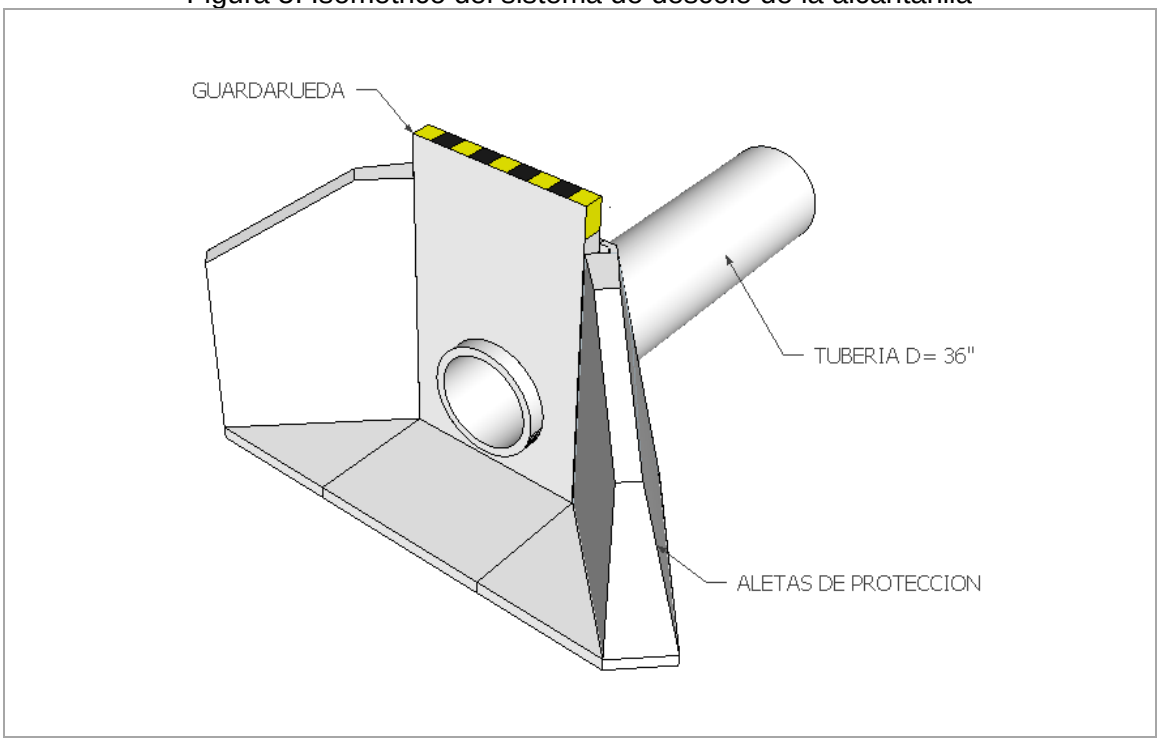
Fuente: Consultor.

Figura 4. Representación gráfica en planta del sistema de descole de la alcantarilla.



Fuente: Consultor.

Figura 5. Isométrico del sistema de descole de la alcantarilla



Fuente: Consultor.

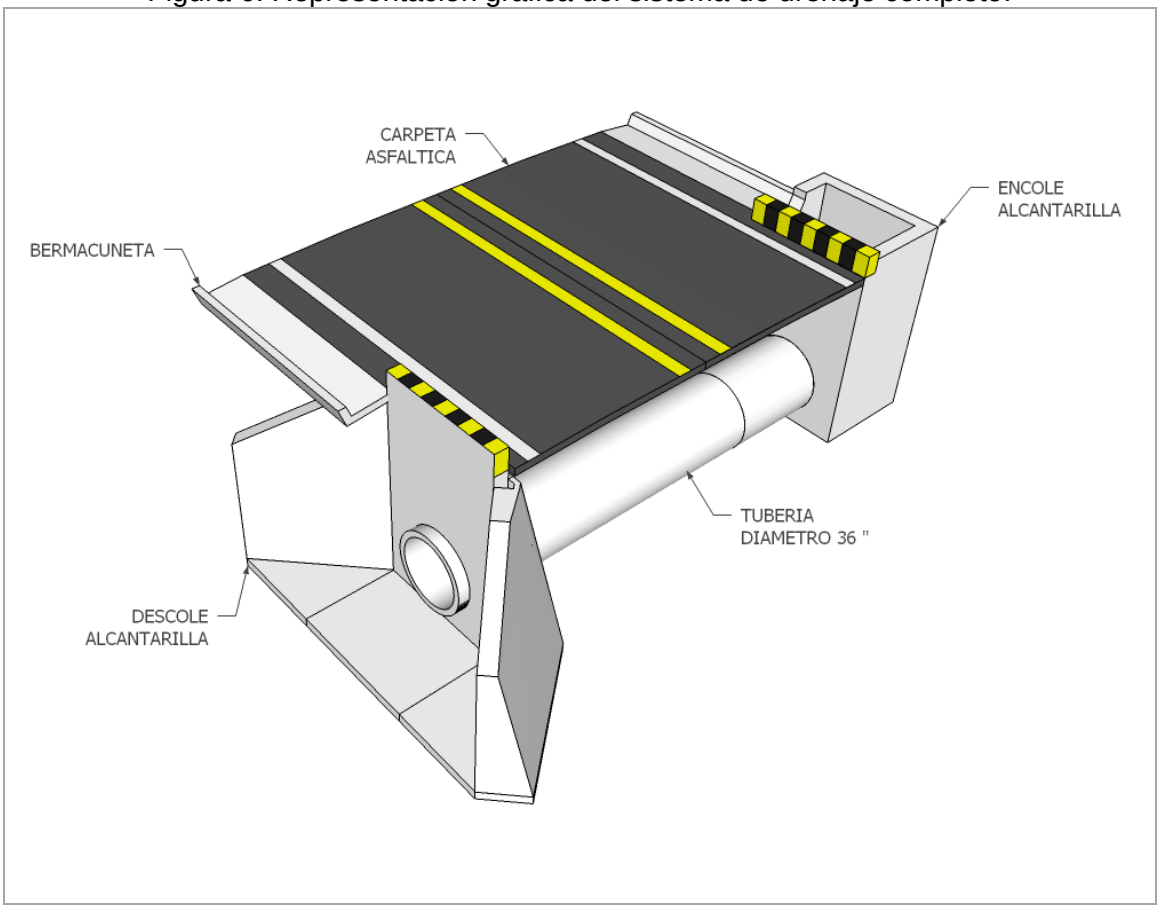
5.2.3.5 Estructura de salida

Se refiere a todas las obras construidas con el fin de entregar el flujo hacia el descole o sitio de vertimiento de las aguas y de estabilizar las zonas aledañas.

5.2.3.6 Poceta o lavadero

Estructura que recibe el agua recolectada por las diferentes estructuras de drenaje longitudinal, especialmente cunetas, se utiliza como encole y en algunas ocasiones puede encontrarse en el descole acompañada de otras estructuras de conducción de agua.

Figura 6. Representación gráfica del sistema de drenaje completo.



Fuente: Consultor.

Figura 7. Perfil alcantarilla tipo.

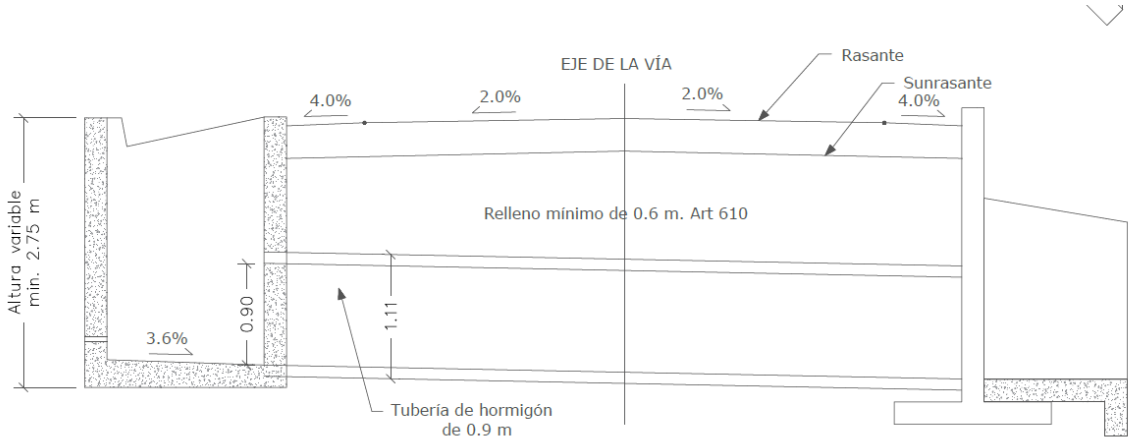
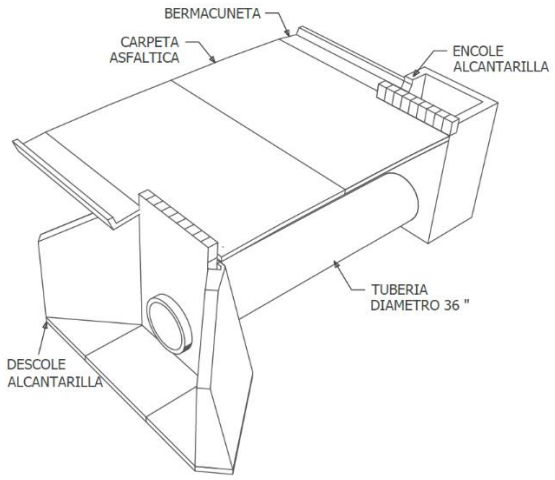


Figura 8. Planta alcantarilla tipo.



5.3 Análisis hidráulico obras transversales

Las alcantarillas o los boxes Culvert son conductos cortos por los cuales se transporta agua por debajo de la vía de un costado hacia el otro. Su sección transversal puede tener cualquier

forma, sin embargo, generalmente son circulares o rectangulares. Para su análisis hidráulico se revisa que para su carga máxima de entrada (HW) la sección transversal sea suficiente para transportar el caudal de diseño sin generar eventuales rebosamientos sobre la vía. Estas estructuras hidráulicas tienen dos formas típicas en la captación del agua, una es con una poceta (o caja recolectora) adecuada para recibir aportes de drenajes intermitentes de alta pendiente, así como del agua proveniente de las cunetas y filtros franceses, entre otras; las otras formas de captación típica son con aletas, cabezotes y soleras, las cuales son implantadas en drenajes a encausar en las alcantarillas. Respecto al descole, se suelen hacer con aletas, cabezotes y soleras seguidos de un enrocado de protección y eventualmente estructuras disipadoras de energía.

Dentro de las obras existentes en la vía objeto de estudio, se encontró que por lo general son alcantarillas circulares de 24 pulgadas de diámetro en su mayoría.
Las alcantarillas de entrada tipo poceta de ancho un metro, corresponden a las corrientes más pequeñas que cruzan la vía.

Generalmente en la entrada se crean represamientos debido al cambio de sección entre la corriente natural y la obra, para evitar lo anterior se establecieron las siguientes condiciones de diseño:

A. Flujo a superficie libre dentro del conducto en régimen supercrítico.
B. Nivel máximo de represamiento aguas arriba, inferior a la cota clave (corona) de la estructura hidráulica.
C. Pendiente longitudinal del conducto entre el uno o dos por ciento.
D. Rugosidad de Manning en el conducto 0.013
E. Condición de salida: Flujo de alta velocidad.

5.3.1 Áreas tributarias alcantarillas

Debido a que las alcantarillas no solamente captan agua de la conducción de las cunetas, sino que adicional a esto pueden ser receptoras de caudal propio de aferencia por escurrimiento directo hacia ellas, o por fuentes de agua, que no es el caso para el presente estudio, sin embargo, se analizaron las alcantarillas inicialmente ubicándolas geográficamente, y posteriormente revisando sus áreas tributarias.

Figura 9. Ubicación geografía de cuencas de estructuras de drenaje transversal.

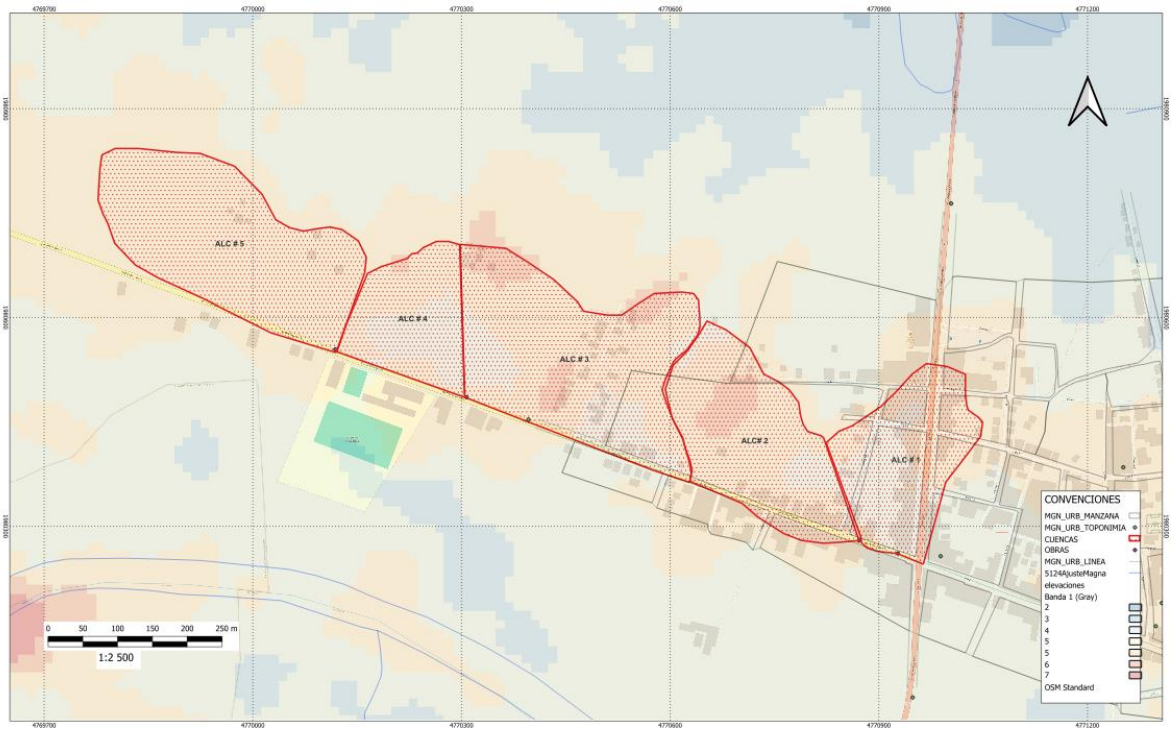
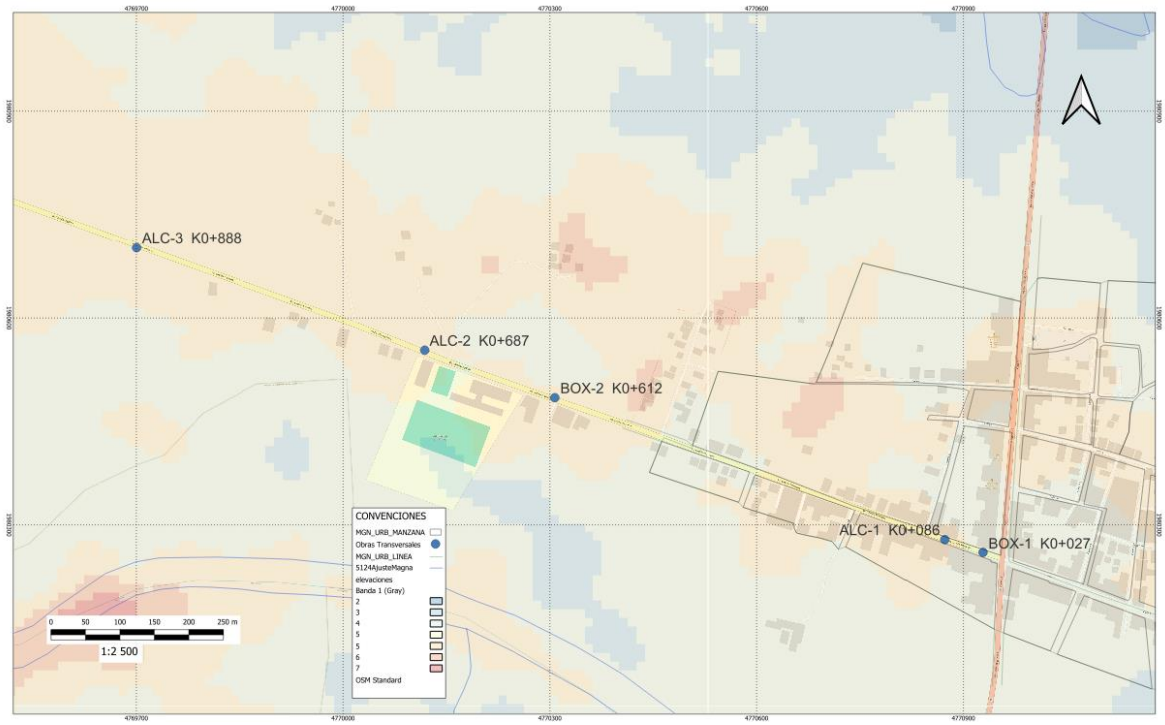


Figura 10. Ubicación geografía de estructuras de drenaje transversal.



Fuente: Consultor.

Se presenta entonces el resumen de las estructuras de drenaje transversal:

Tabla 5. Listado de estructuras transversales finales

ABSCISA	NUMERO	Box/Alc	Dimensiones Ducto	Coordenadas	
				Norte	Este
K0+027.97	*Box # 1*	*BOXCULVERT*	*2m x 1m*	*1980260.04*	*4770927.00*
K0+086.50	*Alc # 1*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980278.58*	*4770871.53*
K0+612.82	*Box # 2*	*BOXCULVERT*	*2m x 1m*	*1980484.38*	*4770307.02*
K0+687.30	*Alc # 2*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980553.34*	*4770118.20*
K0+888.30	*Alc # 3*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980278.58*	*4770871.53*

5.3.2 Análisis hidráulico de las estructuras de drenaje transversal.

Las alcantarillas y Box culvert son conductos cortos por los cuales se transporta agua por debajo de la vía de un costado hacia el otro. Su sección transversal puede tener cualquier forma, sin embargo, generalmente son circulares o rectangulares.

El Programa HY-8 es un software elaborado por la Federal Highway Administration y es avalado por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS para el análisis de Alcantarillas en Carreteras, actualmente cuenta con las siguientes aplicaciones: (Ucd & Col, 2017, p. 10).

- ✓ Realizar cálculos para el análisis de alcantarillas
- ✓ Generación y enrutamiento de hidrogramas
- ✓ Desbordamiento de carreteras
- ✓ Estimaciones de drenaje de salida.
- ✓ Perfiles de Flujo.

Para su análisis hidráulico se revisa su carga máxima de entrada (HW) la sección transversal sea suficiente para transportar el caudal de diseño sin generar eventuales rebosamientos sobre la vía. Estas estructuras hidráulicas tienen dos formas típicas en la captación del agua, una es con una poceta (o caja recolectora) adecuada para recibir aportes de drenajes intermitentes de alta pendiente, así como del agua proveniente de las cunetas y filtros franceses, entre otras; las otras formas de captación típica son con aletas, cabezotes y soleras, las cuales son implantadas en drenajes superficiales a encausar en las alcantarillas. Respecto al descole, se suelen hacer con aletas, cabezotes y soleras seguidos de un enrocado de protección y eventualmente estructuras disipadoras de energía (Normas & Generales, 2012, pp. 10).

El flujo a través de una alcantarilla se controla en la entrada (Inlet Control Headwater Depth) o en la salida (Outlet Control Headwater Depth). Flujo con Control a la Entrada ocurre cuando la alcantarilla (conducto) es capaz de transportar más flujo del que entra, La profundidad crítica ocurre en o cerca de la sección de entrada, y el régimen de flujo inmediatamente aguas abajo es supercrítico (Federal Highway Administration, 2012). La profundidad de la cabecera para el control de la entrada depende de si el encole está o no sumergido. Si la entrada no está sumergida, actúa como un vertedero, mientras que una entrada sumergida actúa como un orificio. De esta manera se desarrollaron ecuaciones que definen la profundidad de la cabecera del control de entrada, utilizando modelos de alcantarilla en una pendiente del 2% para condiciones sumergidas y no sumergidas. (Rowley et al., 2007, pp. 10).

Las ecuaciones utilizadas por el programa HY-8 para calcular las profundidades de las cabeceras de control de entrada se representa para condiciones no sumergidas (1) y la ecuación (2) es para flujo sumergido u orificio:

$$\frac{Hw_i}{D} = \frac{H_C}{D} + K^* \left[\frac{K_u * Q}{A * D^{0.5}}\right]^M + K_s * S \quad (1)$$

$$\frac{Hw_i}{D} = c * \left[\frac{K_U Q}{A * D^{0.5}}\right]^2 + Y + K_S * S \quad (2)$$

Donde:

HWi	= Altura lámina agua a la entrada.	(m).
D	= Diámetro del conducto.	(m).
Hc	= Profundidad critica.	(m).
Q	= Descarga.	(m3/s)
A	= Área del conducto.	(m2)
S	= Pendiente del conducto.	(m/m)
K,M,c,Y	= Constantes según configuración a la entrada	
Ku	= Unidad de conversión SI (1.811)	
Ks	= Corrección de pendiente (-0.5)	

Cuando el flujo en la entrada cambia de no sumergido a una condición sumergida, entra en una zona de transición creando una línea tangente a las curvas sumergidas y no sumergidas, de tal manera, HY-8 utiliza un método en el cual crea una curva polinomial de quinto grado de mejor ajuste a través de las tres zonas de flujo: no sumergido, de transición y sumergido, la ecuación que define el polinomio general de quinto grado y que es aplicable cuando 0.5<HW/D<3.0 es:

$$\frac{Hw}{D} = a + b * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}}\right] + c * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}}\right]^2 + d * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}}\right]^3 + e * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}}\right]^4 + f * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}}\right]^5 + 0.5S$$

Donde:

a,b,c,d,e,f = Coeficientes de regresión para cada tipo de alcantarilla.

Para el control de la salida, la tubería de la alcantarilla y/o la profundidad del agua de cola (TW), controlan la altura de lámina de agua de cabecera (HWo). Todas las características geométricas e hidráulicas de la alcantarilla juegan un papel en la determinación de su capacidad (Federal Highway Administration , 2012). Las

condiciones de flujo de control de salida se pueden calcular en función del balance de energía.(Schall et al., 2012, pp. 11).

$$HW_o=TW+H_L-LS$$

La energía total requerida para hacer pasar el flujo a través de la tubería de la alcantarilla (HL), se calcula de la siguiente manera:

$$H_L=H_e+H_f+H_o+H_b+H_j+H_g$$

Donde:

He = Perdida a la entrada. ft (m).
Hf = Perdida por fricción del conducto. ft (m).
Ho = Perdida a la salida. ft (m).
Hb = Otras Perdidas. ft (m)
Hj = Perdidas en las uniones. ft (m)
Hg = Perdidas por cambios de nivel. ft (m)

Como una aproximación, el valor de Ho y He está dado por la siguiente expresión:

$$H_O=\frac{(V-V_d)^2}{2*g} \qquad H_e=K_e*\left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

Donde:

V =Velocidad de flujo (m/s).
Vd = Velocidad del canal aguas abajo. (m/s).
Ke = Coeficiente de perdidas entrada.

HY-8 utiliza los números de tipo de flujo para ayudar a definir cómo es el flujo de la alcantarilla. Los números de tipo de flujo se basan en los números de tipo de flujo del USGS del 1 al 6 (USGS - 1968) complementado con:

- ✓ Simplificación de HW = D para indicar inmersión en la entrada.
- ✓ Tipo de flujo 7 para control de salida con perfil M1 o M2 para la mayor parte de la tubería con HW> D.
- ✓ Indicadores perfil de superficie de agua estándar (S1, S2, M1, M2, H2 y H3).
- ✓ Indicador de Tailwater (n, c, t y f) para Tailwater normal, crítica, y llena.

Tabla 6. Números de tipo de flujo HY-8

Flow Type	Flow Control	Submerged Inlet HW>D	Submerged Outlet TW>D	Length Full
1	Inlet	No	No	None
5	Inlet	Yes	No	None

Flow Type	Flow Control	Submerged Inlet HW>D	Submerged Outlet TW>D	Length Full
2	Outlet	No	No	None
3	Outlet	No	No	None
4	Outlet	Yes	Yes	All
6	Outlet	Yes	No	Most
7	Outlet	Yes	No	Part

Fuente: (Schall et al., 2012).

HY-8 proporciona un indicador para cada tipo de flujo, un perfil de la superficie del agua y un indicador tailwater para cada descarga como una forma abreviada de identificar cómo se calculan el headwater de la alcantarilla y la velocidad de salida. Por ejemplo, un código de 1-S2n indica que la alcantarilla está en control de entrada con profundidad de cabecera menor que D, que la superficie del agua es un perfil S2 y que la profundidad de salida se calculará con el perfil S2 ya que el tailwater tiene una profundidad menor que la normal. HY-8 incluye una lista completa del sistema de codificación de flujo de alcantarilla en su corrida para identificar el tipo de flujo. (Schall et al., 2012, pp. 11)

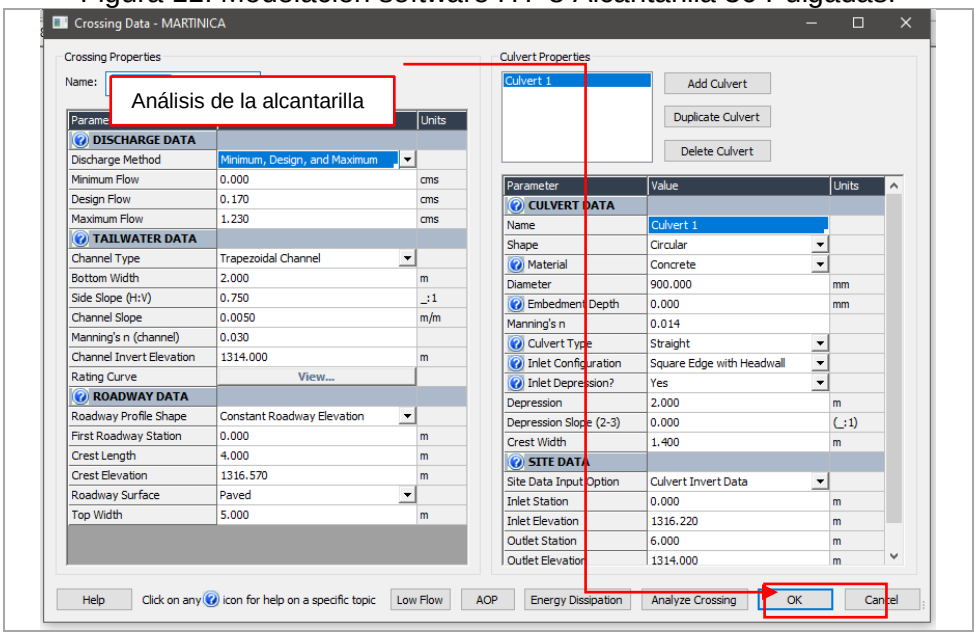
La finalidad de este tipo de drenaje es permitir el paso del agua a través de la sección transversal de la vía, evitando un cambio considerable de la circulación del agua por el cauce natural.(Para et al., 2013, p. 11)

La alcantarilla circular recomendada es de diámetro de 36 pulgadas. Las alcantarillas de entrada tipo poceta de ancho un metro, corresponden a los flujos pequeños que cruzan la carretera. 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), y D el diámetro de tubería, se deben diseñar con un nivel de agua a la entrada menor a 1.2 veces la altura de la alcantarilla HW/D<1.20. Generalmente en la entrada se crean represamientos debido al cambio de sección entre la corriente natural y la obra, para evitar lo anterior se establecieron las siguientes condiciones de diseño:

- ✓ Flujo a superficie libre dentro del conducto en régimen supercrítico.
- ✓ Nivel máximo de represamiento aguas arriba, inferior a la cota clave (corona) de la estructura hidráulica.
- ✓ Pendiente longitudinal del conducto entre el uno o dos por ciento.
- ✓ Rugosidad de Manning en el conducto 0.014.
- ✓ Condición de salida: Flujo de alta velocidad.
- ✓ Relación HW/D<1.20.

En la zona se plantean alcantarillas de 36 in de diámetro, las cuales son modeladas bajo las condiciones de análisis, obteniendo los siguientes resultados:

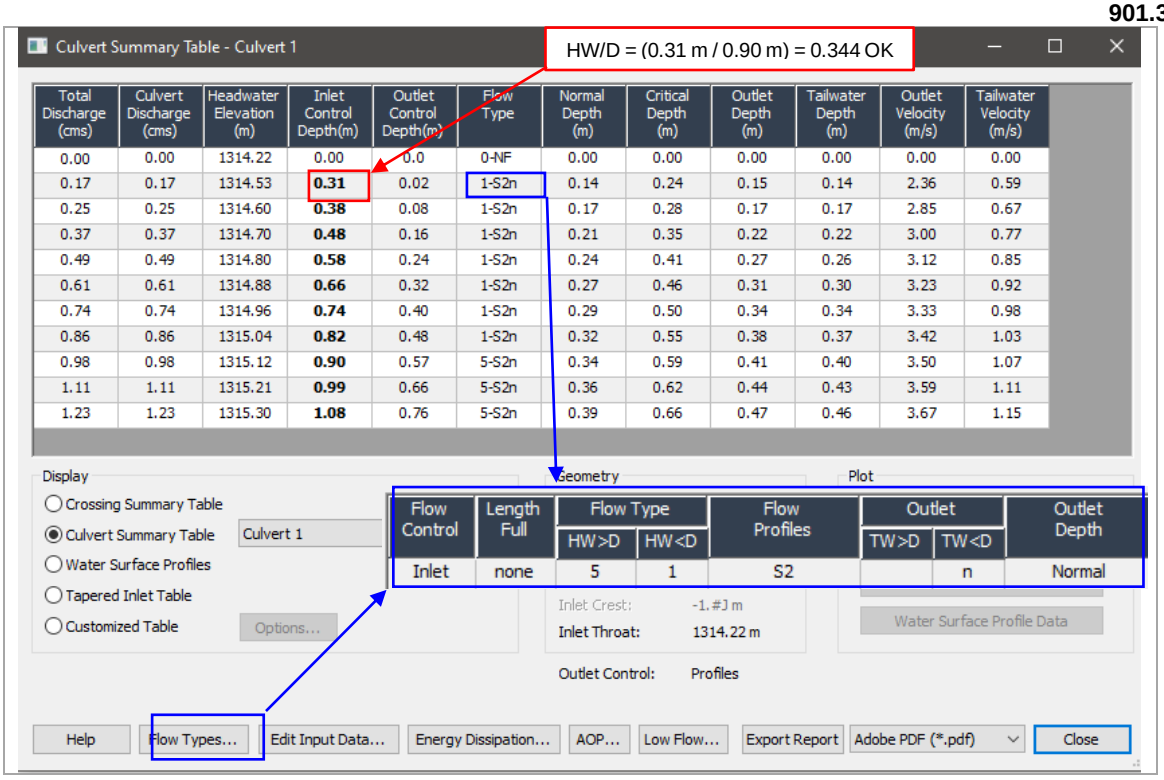
Figura 11. Modelación software HY-8 Alcantarilla 36 Pulgadas.



Fuente: Consultor.

Se calibra la curva de caudales en función de las características propias de la sección y se presenta a continuación, adicional a esto como se establece en la modelación, se presentan los datos de calculo que me indican el tipo de flujo de la alcantarilla de diámetro de 36 pulgadas:

Figura 12. Resultados hidráulicos en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas.

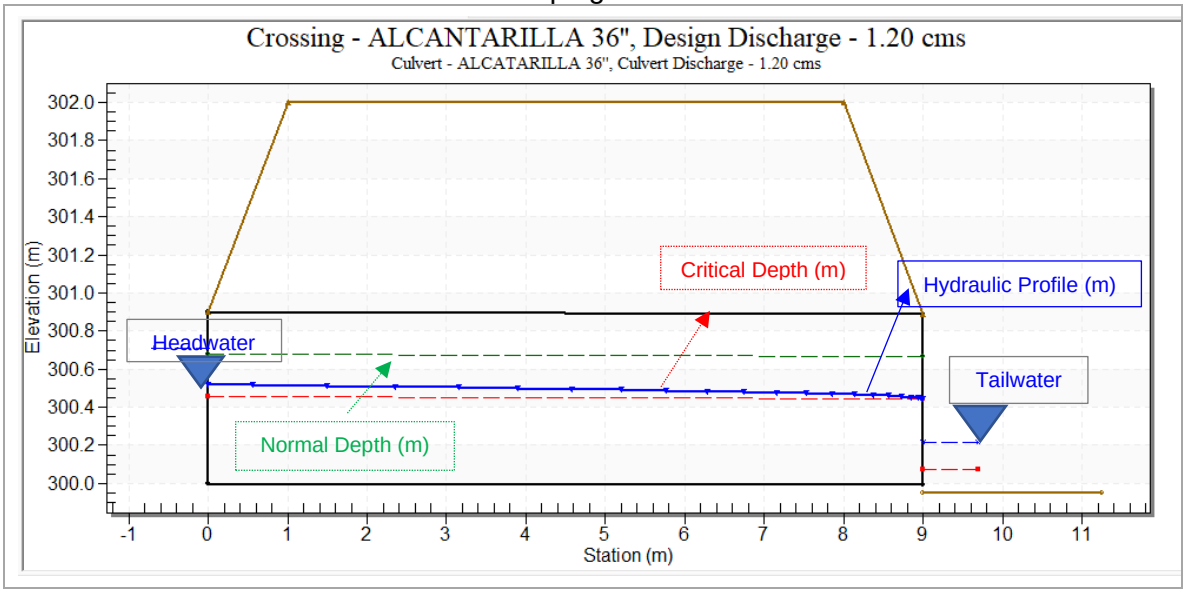


Fuente: HY8-autor.

Este programa HY8 permite revisar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circúlales o de cualquier otro tipo. En la imagen anterior se puede evidenciar el control en la entrada que nos permite identificar si se presentan condiciones sumergidas o no sumergidas, para lo cual se evidencia que no está sumergida ya que el valor HW/D es menor a 0.5, por lo tanto, la entrada actúa como un vertedero.
Se puede identificar que el tipo de flujo es 1-S2n, que indica que la alcantarilla está en control de entrada actúa como un vertedero ya que HW/D < 1, que la superficie del agua es un perfil S2 y que la profundidad de salida se calculará con el perfil S2 ya que el Tailwater tiene una profundidad menor que la normal. El programa tiene la capacidad de generar informes de los análisis hidráulicos realizados, dentro de

cuales se pueden resaltar, los perfiles de flujo, en donde caracteriza las líneas de energía, curvas de remanso y tipos de flujo de una alcantarilla, se compone actualmente de cuatro módulos, necesarios para el análisis y diseño de alcantarillas relacionados así: análisis de alcantarillas, diseño de estructuras de disipación de energía y por ultimo módulos de generación y tránsito de histogramas (Ucd & Col, 2017, pp. 12) Se obtienen los siguientes perfiles asociados a un caudal de 0.17 m3/s, lo cual cumple la consideración de la altura máxima de carga a la entrada. Para la alcantarilla objeto de análisis tipo poceta aleta, con conducto en concreto de diámetro de 0.90 m y pendiente del 2% que evacua el drenaje de la calzada, se estimó que en la condición Hw/D=1.2, transporta un caudal máximo con control a la entrada de 1.2 m3/s.

Figura 13. Perfil en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas.



Fuente: Consultor.

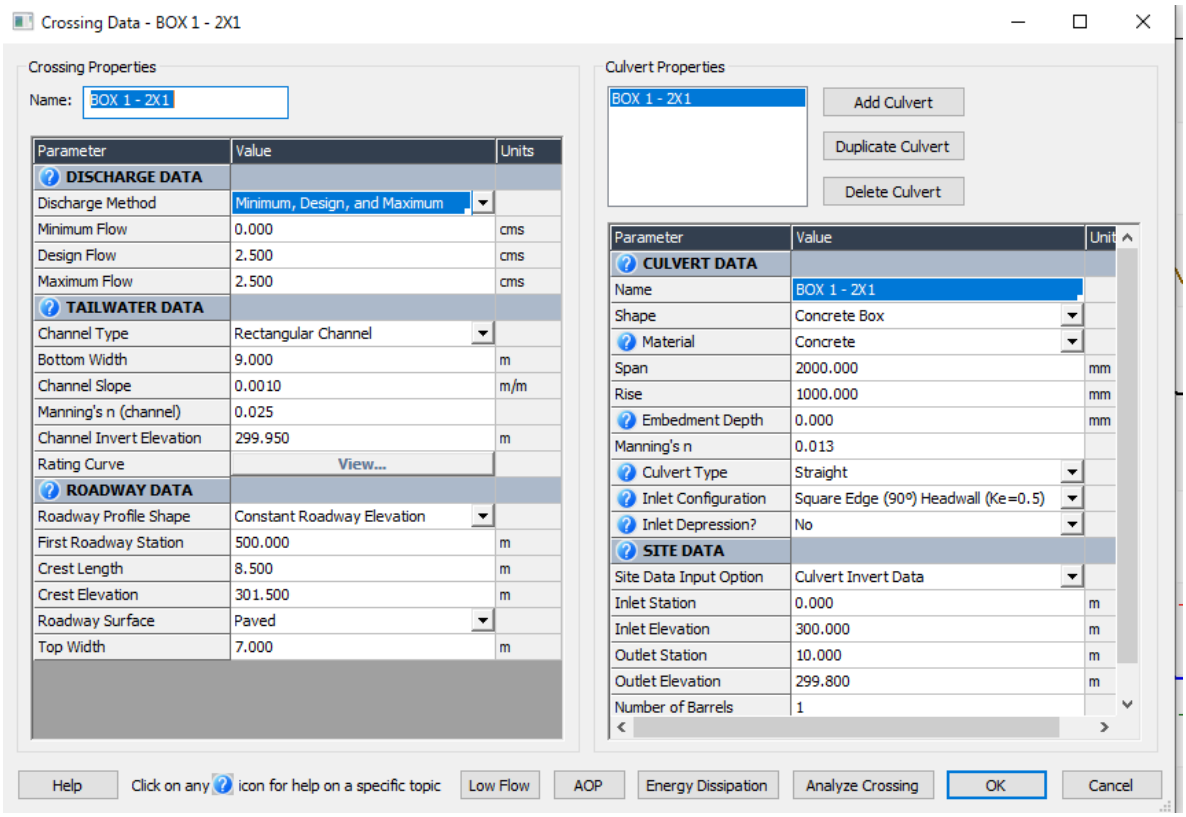
Así pues, se puede observar, el control hidráulico de la estructura se realiza aguas arriba para la profundidad crítica, además el régimen en la alcantarilla corresponde a un perfil supercrítico.

5.3.3 Evaluación hidráulica del Boxculvert 1m x 2 m

Variables de entra para la evaluación del box:

Caudal de diseño: 2.5 m3/s
Pendiente del ducto 2.0%
Ando ducto: 2 m
Alto ducto: 1 m

Variables de entrada calculo box con HY-8



Resultados del análisis con el software HY-8

Culvert Summary Table - BOX 1 - 2X1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	300.00	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
0.25	0.25	300.20	**0.20**	0.05	1-JS1t	0.07	0.12	0.25	0.10	0.50	0.27
0.50	0.50	300.31	**0.31**	0.11	1-S2n	0.11	0.19	0.12	0.16	2.17	0.36
0.75	0.75	300.41	**0.41**	0.16	1-S2n	0.14	0.24	0.15	0.20	2.44	0.42
1.00	1.00	300.50	**0.50**	0.21	1-S2n	0.17	0.29	0.19	0.24	2.63	0.47
1.25	1.25	300.57	**0.57**	0.25	1-S2n	0.19	0.34	0.22	0.27	2.78	0.51
1.50	1.50	300.65	**0.65**	0.30	1-S2n	0.22	0.39	0.26	0.30	2.91	0.55
1.75	1.75	300.71	**0.71**	0.35	1-S2n	0.24	0.43	0.29	0.33	3.03	0.58
2.00	2.00	300.78	**0.78**	0.40	1-S2n	0.26	0.47	0.32	0.36	3.12	0.61
2.25	2.25	300.84	**0.84**	0.45	1-S2n	0.28	0.51	0.35	0.39	3.22	0.64
2.50	2.50	300.91	**0.91**	0.50	1-S2n	0.30	0.54	0.38	0.42	3.30	0.67

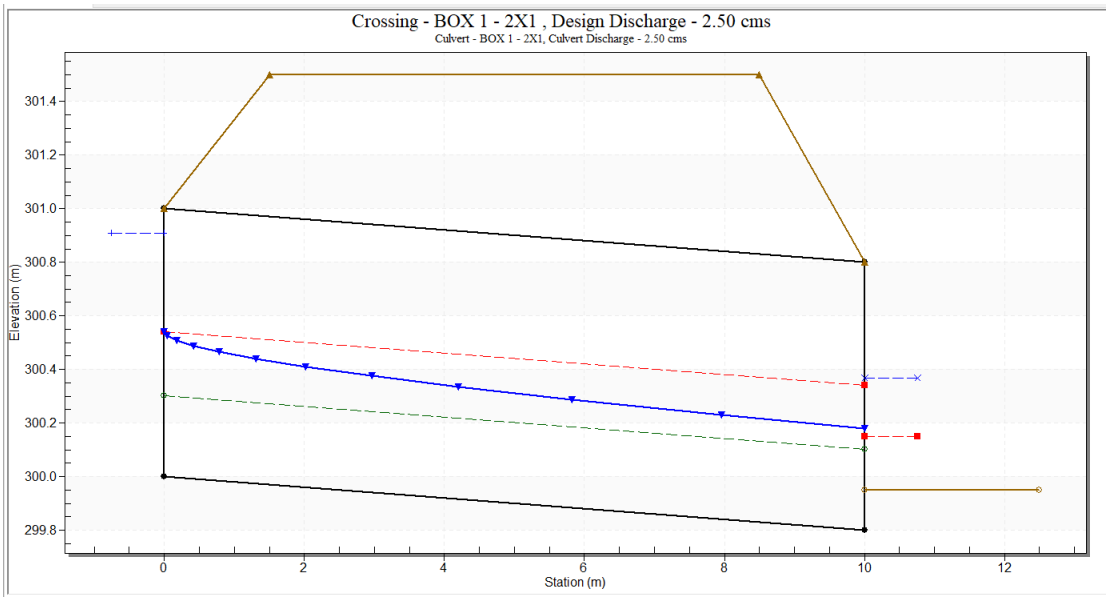
Display
- Crossing Summary Table
- Culvert Summary Table — BOX 1 - 2X1
- Water Surface Profiles
- Tapered Inlet Table
- Customized Table — Options...

Geometry
- Inlet Elevation: 300.00 m
- Outlet Elevation: 299.80 m
- Culvert Length: 10.00 m
- Culvert Slope: 0.0200
- Culvert Rise: 1.00 m
- Culvert Span: 2.00 m
- Outlet Control: Full Flow

Plot
- Crossing Rating Curve
- Culvert Performance Curve
- Selected Water Profile
- Water Surface Profile Data

Help | Flow Types... | Edit Input Data... | Energy Dissipation... | AOP... | Low Flow... | Export Report | MS Word (*.docx) | Close

Perfil en software HY-8 alcantarilla tipo BoxCulvert de 1m X 2 m



A continuación, se analizan las comprobaciones hidráulicas las estructura de drenaje transversal con respecto al caudal de diseño y la capacidad máxima de cada estructura.

Figura 14. Comprobaciones hidráulicas estructuras de drenaje transversal.

ABSCISAS	ESTRUCTURA	Tiempo de consentracion calculado (Tc)	Tiempo de concentración adoptado (Tc)	Intensidad (I)	Cudal cuenca (Q)	Cudal Cuenca (Q)	Dimensiones del ducto		Q (Estructura transversal)	Qestruc/Qcuenca	CUMPLE
		(min)	(min)	(mm/h)	(L/s)	(m3/s)	Alto/Ancho	Alto	(m3/s)	%	
K0+027.97	Box # 1	11.69	11.7	179.80	1120	**1.12**	36"		2.50	45%	OK
K0+086.50	Alc # 1	15.7	15.7	179.80	717.7	**0.72**	36"		1.2	60%	OK
K0+612.82	Box # 2	9.8	15.0	179.80	1247.9	**1.25**	36"		2.5	50%	OK
K0+687.30	Alc # 2	8.9	15.0	179.80	483.1	**0.48**	36"		1.2	40%	OK
K0+888.30	Alc # 3	18.7	18.7	179.80	1139.6	**1.14**	36"		1.2	95%	OK

6 DISEÑO OBRAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

A continuación, se expone detalladamente el diseño integral del sistema de drenaje subsuperficial Geodrén vial, una solución estratégica concebida con el objetivo primordial de gestionar eficazmente el flujo de aguas pluviales y subterráneas, mitigando así el impacto negativo sobre la estabilidad de la estructura del pavimento. Este innovador enfoque se fundamenta en la implementación de tecnologías avanzadas y materiales de alta calidad, asegurando una gestión sostenible y eficiente de las aguas superficiales en entornos viales. El Geodrén vial se erige como una respuesta integral a los desafíos asociados con la acumulación de agua, al proporcionar una vía efectiva para la evacuación rápida y segura de las precipitaciones, contribuyendo de manera significativa a la prolongación de la vida útil de la infraestructura vial y a la preservación de su integridad estructural ante condiciones climáticas adversas.

6.1 Periodo de retorno para obras de drenaje subsuperficial

Respecto a los intervalos de tiempo o periodos de retorno establecidos para diversas obras de drenaje, se optó por seguir los que están especificados en el Manual de Drenajes para Carreteras del INVIAS. Estos intervalos sirven como base para calcular los caudales máximos instantáneos anuales asociados a las obras de drenaje vial. Se considera un periodo de retorno de 2 años al llevar a cabo el diseño de los sistemas de drenaje subsuperficial.

6.2 Hidrología de la zona

Tabla 7. Curvas IDF

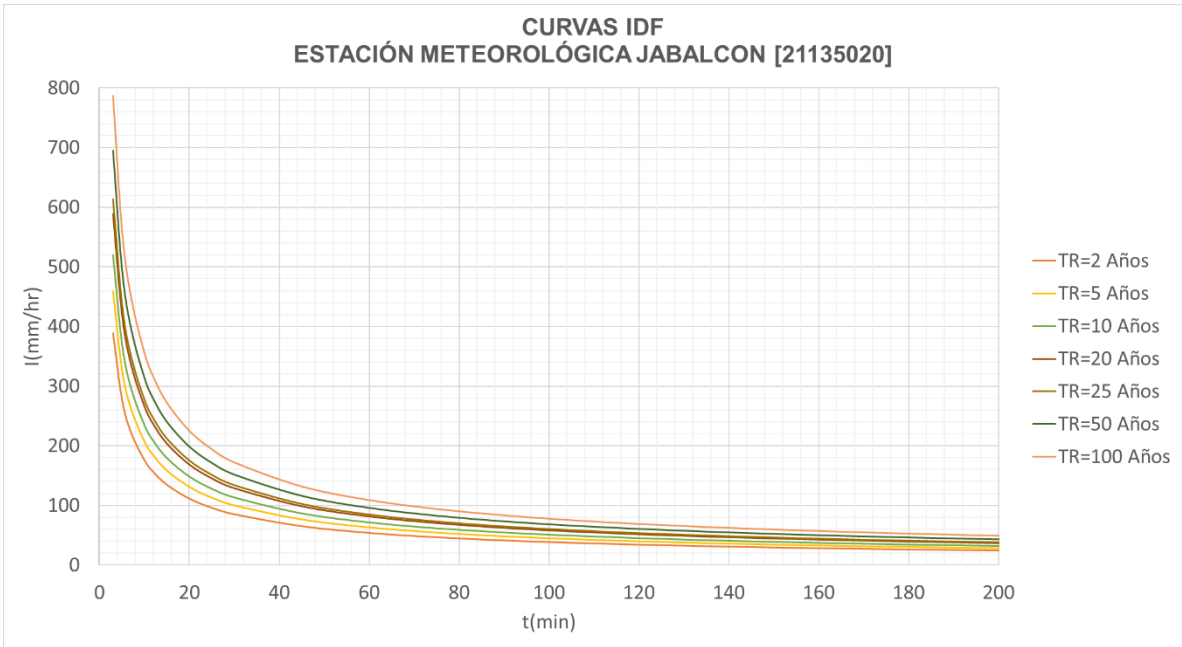


Tabla 8. Valores de la Intensidad (i) en mm/horas calculadas para generar la curva IDF.

Tiempo (min)	Estación meteorológica JABALCON [21135020] Colombia curvas intensidad-duración-frecuencia. (mm/hr)							
	Periodo de retorno (T)							
	2	3	5	10	20	25	50	100
3	389.2	418.7	459.0	520.0	589.1	613.3	694.8	787.1
5	277.8	298.9	327.7	371.2	420.5	437.8	495.9	561.8
7	222.5	239.4	262.4	297.3	336.8	350.6	397.2	449.9
10	175.8	189.2	207.4	234.9	266.1	277.0	313.9	355.6
12	155.9	167.7	183.9	208.3	236.0	245.6	278.3	315.3
15	**134.6**	**144.7**	**158.7**	**179.8**	**203.7**	**212.0**	**240.2**	**272.1**
20	111.3	119.7	131.2	148.7	168.4	175.3	198.6	225.0
25	96.0	103.3	113.3	128.3	145.4	151.3	171.4	194.2
30	85.2	91.6	100.4	113.8	128.9	134.2	152.0	172.2
45	65.2	70.1	76.8	87.1	98.6	102.7	116.3	131.8
60	53.9	58.0	63.6	72.0	81.6	84.9	96.2	109.0
75	46.5	50.0	54.9	62.1	70.4	73.3	83.0	94.1
90	41.2	44.4	48.6	55.1	62.4	65.0	73.6	83.4
105	37.3	40.1	43.9	49.8	56.4	58.7	66.5	75.3
120	34.1	36.7	40.2	45.6	51.6	53.7	60.9	69.0
135	31.6	33.9	37.2	42.2	47.8	49.7	56.3	63.8
150	29.4	31.7	34.7	39.3	44.6	46.4	52.5	59.5
165	27.6	29.7	32.6	36.9	41.8	43.6	49.3	55.9
180	26.1	28.1	30.8	34.9	39.5	41.1	46.6	52.8
195	24.8	26.6	29.2	33.1	37.5	39.0	44.2	50.1
210	23.6	25.4	27.8	31.5	35.7	37.1	42.1	47.7
225	22.5	24.2	26.6	30.1	34.1	35.5	40.2	45.5
240	21.6	23.2	25.5	28.8	32.7	34.0	38.5	43.7
255	20.7	22.3	24.5	27.7	31.4	32.7	37.0	41.9
270	20.0	21.5	23.6	26.7	30.2	31.5	35.6	40.4
285	19.3	20.7	22.7	25.7	29.2	30.4	34.4	39.0
300	18.6	20.0	22.0	24.9	28.2	29.4	33.3	37.7

Fuente: Propia

6.3 Caudal de diseño

Los diferentes aportes de agua que componen el caudal de diseño del Geodrén vial y que pueden incidir en la integridad de un pavimento son los siguientes:

- El flujo derivado de la infiltración de agua de lluvia: el agua de lluvia cae directamente sobre la capa superior del pavimento, y una fracción de esta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que tanto los pavimentos rígidos como los flexibles no son impermeables.

- El flujo causado por la reducción del nivel freático. En lugares donde el nivel freático se encuentra a una altura que podría afectar la estructura del pavimento, es necesario reducir este nivel de manera que no genere problemas por excesos de agua.

6.3.1 Caudal por infiltración

$Q_{infiltración} = I_R * B * L * F_i * F_R$

donde:
I_R: Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto, dato que
se toma de las curvas IDF de la zona, usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos para el periodo de retorno de diseño.

B: Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.
L: Longitud del tramo de drenaje.
Fi: Factor de infiltración. Tabla 3.
F_R : Factor de retención de la capa granular, refleja el hecho que la capa granular, dada su permeabilidad, entrega lentamente el agua al subdrén. Tabla 4

Tabla 9. Valores recomendados para Fi

TIPO DE CARPETA	Fi
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.30
Carpetas asfálticas normalmente	0.40
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.50
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

Tabla 10. Valores recomendados para F_R

TIPO DE BASE	F_R
Bases bien graduadas, en servicio 5 años o mas	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

6.3.2 Caudal por nivel freático

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectando a la estructura, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por excesos de agua. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$Q_{NF} = k * i * Aa$

$i = (Nd - Nf) / B$

$Aa = (Nd - Nf) * L$

Donde
k. = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i = Es el gradiente hidráulico.

Nd = Cota inferior del subdrén. (Ver Figura 10.9a).

Nf = Cota superior del nivel freático. (Ver Figura 10.9a).

Aa = Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B = Para subdrenes longitudinales, es la semibanca de la vía1.Para el caso de subdrenajes transversales, es la distancia entre subdrenajes. Para el caso de campos deportivos es la distancia entre colectores secundarios. Para otras estructuras es el ancho del área aferente a drenar.

L = Longitud del tramo de drenaje hasta la descarga.
Nota: El caudal por abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdrén, por esta razón el caudal de diseño (QNF) debe ser duplicado.

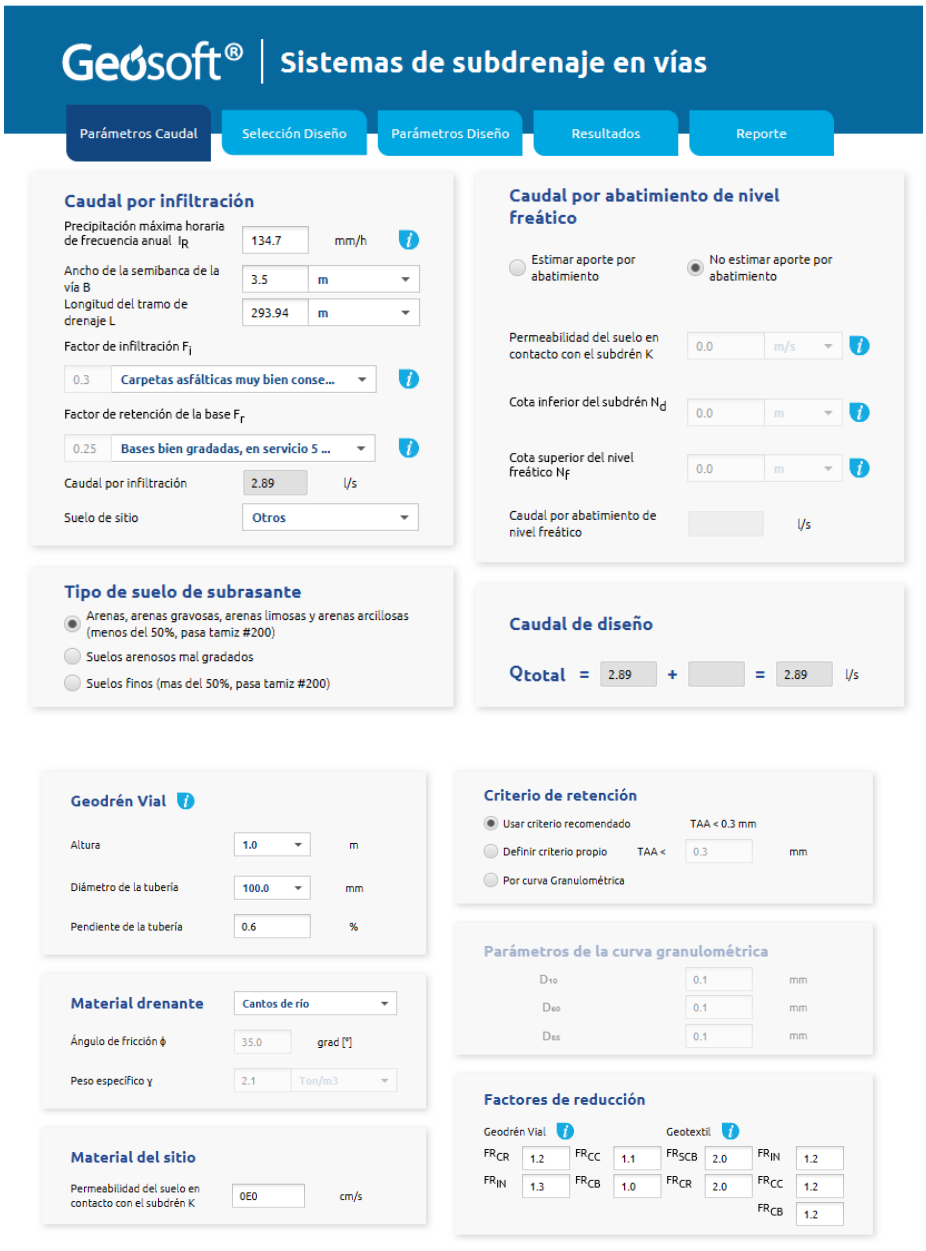
6.3.3 Tramo de diseño

A continuación, se presenta los tramos a diseñar que fueron propuesto por el diseño de pavimentos.

Referencia	Abscisas		Longitud	Pendiente	Ubicación
	Inicio	Final			
Inicio	K0+000.00	K0+027.97	27.97	1.19%	Costado izquierdo y derecho
Box #1	K0+027.97	K0+086.50	58.53	0.15%	Costado izquierdo y derecho
Alcantarilla #1	K0+086.50	K0+318.86	232.36	2.61%	Costado izquierdo y derecho
Punto Max	K0+318.86	K0+612.80	293.94	0.64%	Costado izquierdo y derecho
Box #2	K0+612.80	K0+687.60	74.80	0.64%	Costado izquierdo y derecho
Alcantarilla #3	K0+687.60	K0+888.70	201.10	0.81%	Costado izquierdo y derecho
Fin	K0+888.70	K1+011.00	122.30	0.81%	Costado izquierdo y derecho

La determinación del Geodrén se efectuó mediante el uso del software Geosoft. En el Anexo Calculo Geodrén Vial, se detallan tanto los datos de entrada como los resultados de diseño correspondiente al tramo mas critico en longitud y pendiente.

Valores de entrada



Resultado de la capacidad hidráulica de la tubería del Geodrén con respecto al caudal de diseño para un periodo de diseño de 2 años.

Capacidad hidráulica tubería de drenaje

Caudal que es capaz de transportar la tubería: 3,37 l/s

Observación: El diámetro de la tubería es adecuado

Criterio de retención

TAA < 0,3 mm

Observación: El medio filtrante del geodrén es adecuado

Criterio de permeabilidad $K_g > K_s$

Observación: Permeabilidad adecuada

Evaluación según la permitividad del sistema

FS_g = 0,347222222 / 0,000009822 > 3

Observación: Permitividad adecuada

Conducción del agua en el plano del geocompuesto

FS_g = 0,000294321 / 0,000009822 = 29,97

Observación: Geocompuesto adecuado

Figura 15. Geodrén vial tipo para todos los tramos

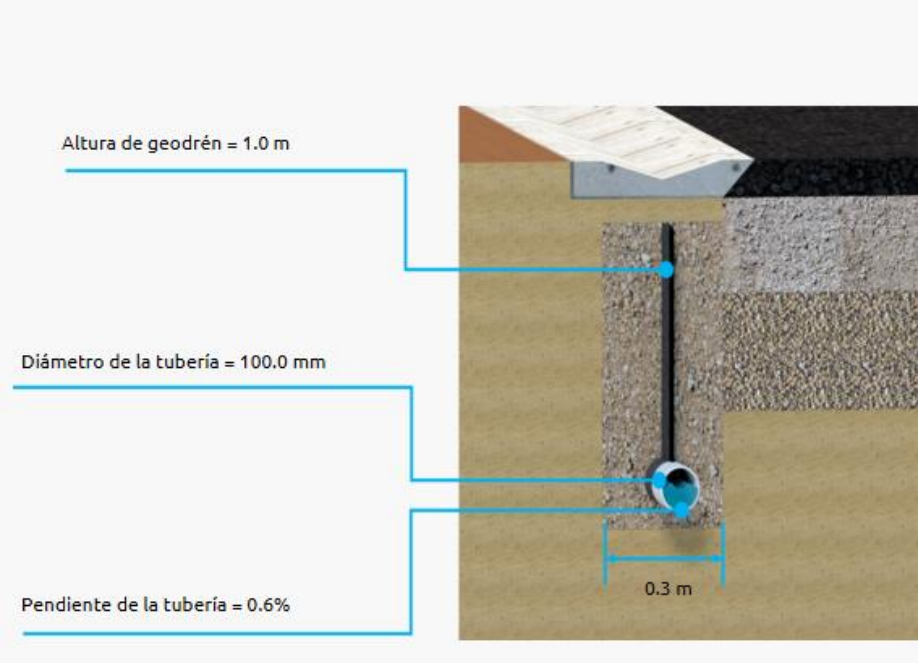
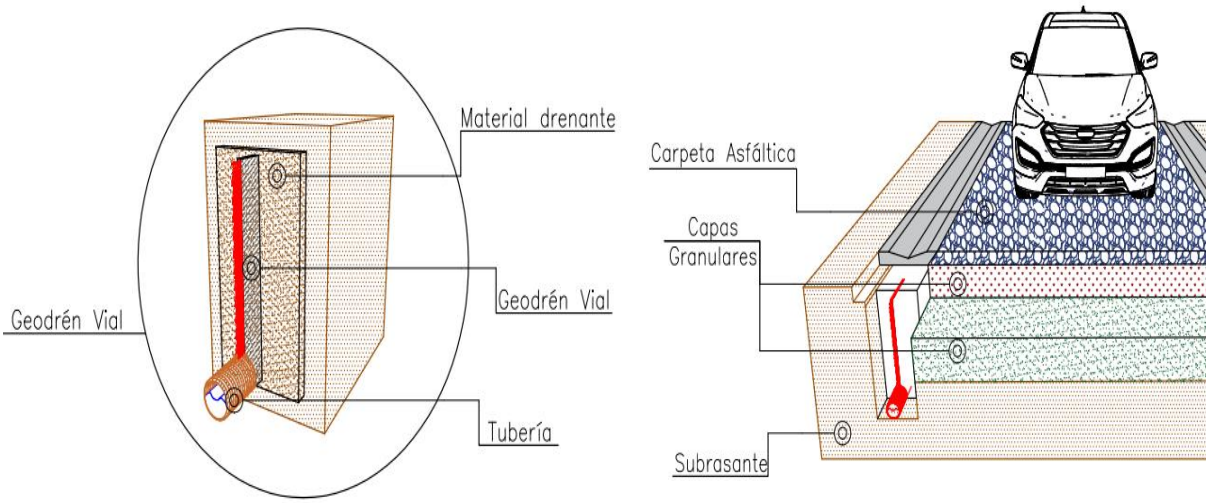


Figura 16. Diagrama de posición de bordillos



7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

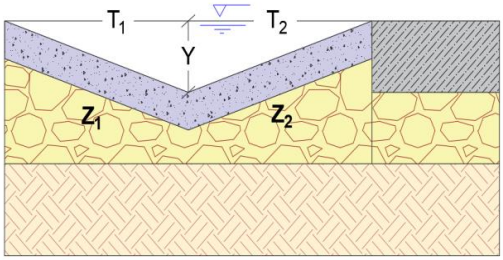
- De acuerdo con las recomendaciones establecidas en el numeral 4.4.5.2. del Capítulo 4 del Manual de Drenaje para Carreteras de INVÍAS, se establece que el diámetro mínimo para todas las alcantarillas destinadas al desagüe de cunetas, filtros y zanjas de coronación es de 0.90 metros. En consecuencia, resulta necesario reemplazar todas aquellas alcantarillas cuyo diámetro sea menor a 0.90 metros o 36 pulgadas.

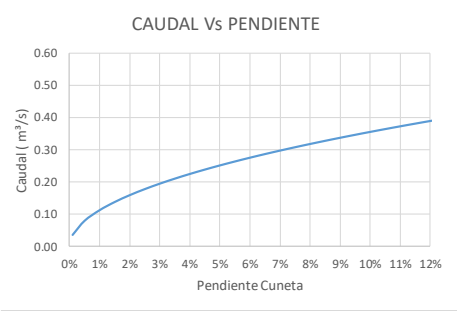
- Tras la identificación de cinco alcantarillas existentes en mal estado y con diámetros inferiores a 90 cm, se llevaron a cabo los análisis hidráulicos correspondientes. Los resultados indicaron que todas las alcantarillas actuales deben ser demolidas y reemplazadas por estructuras más adecuadas. Se instalarán dos Box Culvert de 1 metro de alto y 2 metros de ancho, además de tres alcantarillas de 36 pulgadas, Esto garantizará un sistema de drenaje más eficiente y acorde con los requerimientos hidráulicos del proyecto, y estás nuevas estructuras se localizarán como se indica en la siguiente tabla.

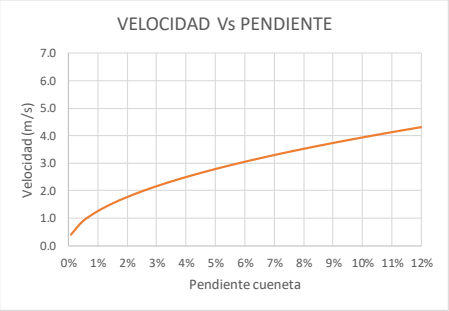
ABSCISA	NUMERO	Box/Alc	Dimensiones Ducto	Coordenadas	
				Norte	Este
K0+027.97	*Box # 1*	*BOXCULVERT*	*2m x 1m*	*1980260.04*	*4770927.00*
K0+086.50	*Alc # 1*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980278.58*	*4770871.53*
K0+612.82	*Box # 2*	*BOXCULVERT*	*2m x 1m*	*1980484.38*	*4770307.02*
K0+687.30	*Alc # 2*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980553.34*	*4770118.20*
K0+888.30	*Alc # 3*	*ALCANTARILLA*	*36"*	*1980278.58*	*4770871.53*

- En cuanto a las cunetas, se ha optado por incorporar una cuenta triangular de 120 cm de ancho y 15 cm de profundidad en ambos lados de la via.

S =	0.50%	*Pendiente*
n =	0.014	*Numero de manning*
Y =	0.15	*Profundidad (m)*
T1 =	0.60	*Ancho menor (m)*
T2 =	0.60	*Ancho mayor (m)*
z1 =	4.000	*Pendiente externa*
z2 =	4.000	*Pendiente interna*
T =	1.200	*Tirante (m)*
A =	0.090	*Area de flujo (m)*
P =	1.237	*Perimetro mojado (m)*
R =	0.073	*Radio hidraulico (m)*
Q =	0.079	*Caudal cuneta (m³/s)*
V =	0.880	*Velocidad Cuneta (m/s)*







- A continuacion se presenta la localizacion de la cunetas en ambos lados de la via.

Referencia	**Abscisas**		**Longitud**	**Pendiente**
	Inicio	**Final**		
Inicio	K0+000.00	K0+027.97	27.97	1.19%
Alcantarilla #1	K0+027.97	K0+086.50	58.53	0.15%
Alcantarilla #2	K0+086.50	K0+318.86	232.36	2.61%
Punto Max	K0+318.86	K0+612.80	293.94	0.64%
Alcantarilla #3	K0+612.80	K0+687.60	74.80	0.64%
Alcantarilla #4	K0+687.60	K0+888.70	201.10	0.81%
Alcantarilla #5	K0+888.70	K1+011.00	122.30	0.81%

- Para todo el tramo de la vía, en ambos costados, se considera necesaria la instalación de un geodrén con una profundidad de 1 metro y un diámetro de tubería de 100 mm, con el objetivo de garantizar las condiciones de drenaje previstas en el diseño de pavimentos.

- En caso de que el constructor encuentre una estructura transversal existente que cumpla con las normas y especificaciones del INVÍAS, y cuya capacidad hidráulica sea equivalente a la de las estructuras propuestas en este informe, podrá conservarse, siempre y cuando se realicen las rehabilitaciones correspondientes.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y de drenaje en carreteras, Rafael Pérez Carmona.
- Drenaje Urbano Elementos de diseño, drenaje urbano no convencional, Héctor Alfonso Rodríguez Díaz.
- Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla.
- Recolección de aguas residuales, Napoleón Zambrano Alfonso.
- Drenaje Vial Superficial y subterráneo, Rodrigo A. Lemos R.
- Norma RAS 2000.

OSCAR ANDRÉS CASTAÑO TRUJILLO
Ingeniero Civil- Especialista en ingeniería ambiental-área sanitaria
T.P.70202-211608TLM