

**INFORME DE DISEÑO CONCEPTUAL, RESERVORIOS
MULTIPROPÓSITO CUENCA LA VILLA, PROYECTO EL GATO
VOLUMEN VÍAS Y DRENAJES**



CANAL DE PANAMÁ

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	6
1.1. CRITERIOS DE DISEÑO	7
1.2. DISEÑO DE VÍAS	7
1.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	7
1.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	7
1.5. ANÁLISIS HIDRÁULICO	7
1.6. ÍNDICES DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN	7
1.7. CONCLUSIONES	8
2. OBJETIVOS	9
2.1. DISEÑO VIAL	9
2.2. DRENAJES	9
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	10
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	11
4.1. DISEÑO VIAL	11
4.2. DRENAJES	11
5. CONDICIONES EXISTENTES	12
6. CRITERIOS DE DISEÑO	13
6.1. CRITERIOS DE DISEÑO VIAL	13
6.1.1. VEHÍCULO DE DISEÑO	13
6.1.2. VELOCIDAD DE DISEÑO	14
6.1.3. RADIO MÍNIMO DE GIRO	14
6.1.4. PENDIENTES LONGITUDINALES	14
6.1.5. LONGITUD MÍNIMA DE LAS CURVAS VERTICALES	15
6.1.6. SECCIONES TRANSVERSALES	16
6.1.7. RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	16
6.2. CRITERIOS HIDROLÓGICOS	17
6.3. CRITERIOS HIDRÁULICOS	17
6.4. CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN	18
7. DISEÑO DE VÍAS	19
7.1. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD	24
7.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS	20
7.2.1. Acceso a pie de presa, portal salida y contraataguía	21
7.2.2. Acceso a ataguía y portal de entrada	21

7.2.3. Vía sustitutiva 1	22
7.2.4. Vía sustitutiva 2	23
7.2.5. Vía sustitutiva 3	24
7.2.6. Vía sustitutiva 4	25
8. RESULTADOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	27
8.1. PLANOS	27
8.2. MEMORIAS DE CÁLCULO	27
8.2.1. Cálculo de cantidades de obra	27
8.2.2. Reportes de alineamiento	28
9. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	29
9.1. CONFIGURACIÓN DE TALUDES	29
9.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	29
10. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS	30
10.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	30
10.1.1. Información hidrológica	30
10.1.2. Información cartográfica	30
10.2. METODOLOGÍA	30
10.3. ANÁLISIS DE CAUDALES	30
10.3.1. Caracterización morfométrica de las cuencas	30
10.3.2. Método racional	33
10.3.2.1. Coeficiente de escorrentía	33
10.3.2.2. Intensidad de la precipitación	34
10.3.3. Método directo basado en registros de caudales máximos instantáneos	36
10.4. JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS	38
10.5. APLICACIÓN DE LAS TEORÍAS Y MÉTODOS DE PREDICCIÓN	38
11. ANÁLISIS HIDRÁULICOS	41
11.1. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS	41
11.1.1. Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas y Box Culvert	41
11.1.2. Funcionamiento Hidráulico	41
11.1.3. Análisis De Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert	43
11.2. DRENAJE LONGITUDINAL	47
11.2.1. Cunetas	47
11.2.2. Zanjas De Coronación	48
11.2.3. Estructuras Escalonadas	49
11.2.4. Obras mayores	50

12. ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN A PARTIR DE ÍNDICES	51
13. CANTIDADES DE OBRAS HIDRÁULICAS	52
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
14.1. DISEÑO VIAL	53
14.2. DRENAJES	53
15. REFERENCIAS	55
16. ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vehículo de diseño

Figura 2. Vías diseñadas zona de obras cuenca La Villa - Presa El Gato

Figura 3. Definición vías sustitutivas

Figura 4. Acceso a pie de presa, portal salida y contraatagüa

Figura 5. Acceso a atagüa y portal de entrada

Figura 6. Vía sustitutiva 1 - Cuenca La Villa presa El Gato

Figura 7. Vía sustitutiva 2 - Cuenca La Villa - Presa El Gato

Figura 8. Vía sustitutiva 3 - Cuenca La Villa - presa El Gato

Figura 9. Vía sustitutiva 4 - Cuenca La Villa - presa El Gato

Figura 10. Curvas IDF a diferentes periodos de retorno.

Figura 11. Localización estación hidrométrica Atalayita.

Figura 12. Ajusta probabilístico de caudales máximos Estación Atalayita – Río La Villa (128-01-03)

Figura 13. Alternativas para localización en planta de alcantarillas

Figura 14. Condiciones de flujo en alcantarillas

Figura 15. Elementos de drenaje longitudinal

Figura 16. Sección cuneta lateral en calzada

Figura 17. Sección de zanja de coronación

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Radio mínimo de acuerdo con el peralte y coeficiente de fricción

Tabla 2. Pendiente máxima para vías rurales locales

Tabla 3. Criterios de diseño para curvas verticales convexas con base en la distancia de visibilidad de parada

Tabla 4. Criterios de diseño para curvas verticales cóncavas con base en la distancia de visibilidad de parada

Tabla 5. Parámetros mínimos de diseño geométrico

Tabla 6. Periodos de retorno de diseño obras de drenaje.

Tabla 7. Vías diseñadas - cuenca La Villa - Presa El Gato

Tabla 8. Resumen volúmenes de explanación

Tabla 9. Resumen volúmenes de pavimento

Tabla 10. Estructuras de pavimento

Tabla 11. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Tabla 12. Características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas en estudio para áreas mayor a 0.2 km².

Tabla 13. Coeficientes de Escorrentía - Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá.

Tabla 14. Valores de Intensidad en mm/h para diferentes periodos de retorno.

Tabla 15. Descripción de la información de caudales máximos instantáneos recopilada

Tabla 16. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno en la estación Atalayita. Período 1967-2013.

Tabla 17. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.

Tabla 18. Caudales máximos obtenidos en todas las cuencas analizadas.

Tabla 19. Dimensionamiento obras proyectadas - Cuenca El Gato

Tabla 20. Análisis y revisión hidráulica cunetas cuenca El Gato

Tabla 21. Análisis y revisión hidráulica Zanjas cuenca El Gato

Tabla 22. Dimensiones de las estructuras escalonadas

Tabla 23. Estructuras tipo Puente

Tabla 24. Índices de cantidades de señalización

Tabla 25. Cantidades de obra - Vías cuenca El Gato

Tabla 26. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe describe la información manejada, los criterios y parámetros definidos, los análisis de hidrología e hidráulica, y los procedimientos desarrollados para la ejecución de los diseños viales conceptuales, el diseño hidráulico y el planteamiento de las obras de drenaje necesarias para manejo de la escorrentía en las vías proyectadas en la cuenca La Villa - Presa El Gato.

1.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño son descritos y definidos en el documento, de acuerdo con los requerimientos y recomendaciones del “Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales del Ministerio de Obras Públicas de Panamá MOP”, de la norma AASHTO 2011 y del “Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica”.

1.2. DISEÑO DE VÍAS

En la cuenca La Villa - Presa El Gato se ejecutó el diseño geométrico de 12.3 km de vías de acceso, los cuales conducen a las obras principales del estudio y se integran con la infraestructura existente. Los diseños se definieron de acuerdo con los parámetros establecidos en el documento azu-ing-INF-001 INFORME DE CRITERIOS DE DISEÑO y se manejó topografía del modelo Jaxa.

1.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

En este numeral se presentan los parámetros geotécnicos en cuanto a taludes y pavimentos, implementados en el estudio.

1.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico de las cuencas interceptadas por los trazados viales propuestos para la cuenca El Gato, se realizó a partir de los lineamientos establecidos en el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo con lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas de Panamá.

1.5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

En diseño hidráulico de las vías de acceso proyectadas para el proyecto de presa El Gato corresponde al diseño de las obras de drenaje longitudinal y transversal para manejo de la escorrentía superficial de 12.17 km de vías, las cuales conducen a las obras principales del proyecto y se integran con la infraestructura existente.

1.6. ÍNDICES DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN

La estimación de cantidades de señalización se realizó a partir de índices, para lo cual se tuvo en cuenta trazado preliminar de las vías y las señales estipuladas en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014/2000) en cual fue expedido por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) mediante la Resolución No. 02-2014 (COMITRAN-XXIII); y para el caso de barreras de contención, lo indicado en el Roadside Design Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials.

1.7. CONCLUSIONES

- Se realizó un diseño funcional que satisface los requerimientos de acceso a cada uno de los componentes del proyecto y se presenta como resultado, las cantidades de obra necesarias para evaluar la etapa de diseño conceptual.
- En la etapa posterior se debe tener en cuenta que para los diseños viales en los cuales se usó topografía tomada del modelo Jaxa, los trazados y cantidades deben ser verificados ya que esta topografía presenta menor nivel de precisión respecto a una topografía detallada.
- Se diseñaron vías sustitutivas con especificaciones similares a las de las vías que se afectan por el embalse. Con estas vías se garantiza la conectividad vial que existía antes de la ejecución del proyecto. Se recomienda en el diseño detallado garantizar el empalme con las vías existentes.
- El análisis hidrológico de las cuencas analizadas se realizó a partir de los lineamientos establecidos en el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos de Panamá.
- La delimitación de las cuencas interceptadas por los trazados viales propuestos y la caracterización morfométrica de las mismas se realizó a partir del Modelo Digital de Terreno (DTM) Jaxa.
- Los caudales máximos para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se estimaron a partir del Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² se calcularon a partir del método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service.
- Las coberturas de las cuencas analizadas se obtuvieron del “Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012 realizado por el Ministerio de Ambiente de Panamá, con apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO”. (MINAMBIENTE, 2019).

2. OBJETIVOS

2.1. DISEÑO VIAL

- Establecer los criterios apropiados para el diseño geométrico conceptual de las vías de acceso del proyecto de la cuenca La Villa - Presa El Gato.
- Presentar los diseños geométricos conceptuales de las vías de acceso a las obras principales y de las vías sustitutivas.
- Generar planos y cantidades de obra como resultado del estudio.
- Calcular, a partir de índices las cantidades de señalización para cada vía con el fin de tener un valor estimado para el proyecto.

2.2. DRENAJES

- Diseñar las obras de drenaje necesarias para el manejo de la escorrentía generada hacia los accesos viales de la presa El Gato y sus áreas adyacentes, acorde con las recomendaciones del MOP.
- Realizar los análisis hidrológicos aplicables que permitan establecer los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal y longitudinal para las vías de acceso proyectadas en la presa El Gato.
- Plantear y realizar el diseño hidráulico de las obras de drenaje transversal necesarias para el manejo del drenaje de las vías de acceso proyectadas en la presa El Gato.
- Plantear y realizar el diseño hidráulico de las obras de drenaje longitudinal necesarias para el manejo del drenaje de las vías de acceso proyectadas en la presa El Gato.
- Calcular las cantidades de obras hidráulicas proyectadas para los accesos viales de la presa El Gato con el fin de tener un valor estimado para el proyecto.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los diseños viales fueron desarrollados con el fin de obtener una evaluación de la viabilidad y un orden de magnitud de las cantidades de obra requeridas para la construcción de las vías del proyecto.

Teniendo en cuenta que las obras principales se proyectan en zonas donde en la actualidad no hay intervención, es necesario diseñar caminos que permitan el acceso de personal, equipos y materiales para su construcción.

En cuanto a la conectividad vial, se requiere diseñar vías sustitutivas en los puntos donde la red vial se ve interrumpida por el área de inundación del embalse.

Con relación a los análisis de hidrología e hidráulica, estos se desarrollaron a partir de los alineamientos proyectados para cada uno de los accesos viales, y a partir de estos se continuó con el planteamiento de las obras de drenaje longitudinal y transversal necesarias para manejo de la escorrentía.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. DISEÑO VIAL

Para el diseño geométrico de las carreteras se emplearon los parámetros definidos en el documento AZU-ING-INF-001 INFORME DE CRITERIOS DE DISEÑO. Estos parámetros fueron seleccionados de acuerdo con las condiciones de operación requeridas y en cumplimiento con lo establecido en los términos de referencia y la normatividad aplicable.

En el planteamiento de los parámetros de diseño geométrico de las vías, se consideró el aprovechamiento de las carreteras existentes y se evaluó el trazado que presente la menor afectación ambiental, con el objetivo de disminuir los costos de las alternativas evaluadas y optimizar los tiempos de diseño.

Una vez establecidos los parámetros de diseño geométrico e identificados los puntos de empalme obligados, con la ayuda del software de diseño Civil 3D, se procedió a ejecutar el diseño de los ejes de las carreteras de acceso, verificando el perfil de acuerdo con los parámetros de la normativa relacionados a las pendientes mínimas, máximas y curvas verticales.

El diseño se realizó tomando como base un Modelo Digital de Terreno (DTM) a partir de información LIDAR e información Jaxa.

El trazado se definió teniendo en cuenta la cota de salida y llegada de la carretera, pasos obligados como conexión con las demás carreteras existentes y condiciones geotécnicas apropiadas entre otros.

Finalmente, a partir de los alineamientos horizontales y verticales seleccionados, se elaboraron planos de alineamiento horizontal y vertical y el análisis de movimiento de tierra por medio del DTM.

El cálculo de los índices de cantidades de señalización de fue realizado teniendo en cuenta los diseños en planta, siguiendo los criterios de diseño para dicho cálculo.

4.2. DRENAJES

El diseño del sistema de drenaje de las vías de acceso proyectadas en la presa El Gato está en función del diseño geométrico y las condiciones morfométricas de las áreas adyacente. La ejecución de los diseños de las obras de drenaje se realizó según la siguiente secuencia de actividades:

- Análisis morfométrico de las cuencas aferentes. La delimitación de estas se realizó tomando como base el Modelo Digital de Terreno (DTM) desarrollado a partir de información Jaxa.
- Estimación de los valores de lluvia de diseño.
- Estimación de caudales de diseño.
- Identificación de los sectores y sitios donde se necesita obras de drenaje (transversales y longitudinales) para el manejo de la escorrentía superficial. La identificación de los sitios se realizó tomando como base el Modelo Digital de Terreno (DTM) desarrollado a partir de información Jaxa.
- Dimensionamiento de las obras de drenaje proyectadas.
- Elaboración de planos de cuencas aferentes, de localización en planta de las obras (transversales y longitudinales) y de detalles de las obras.



5. CONDICIONES EXISTENTES

Teniendo en cuenta que las vías diseñadas son totalmente nuevas y su necesidad se definió durante la etapa de diseño conceptual del proyecto, no hay antecedentes ni diseños previos.

Las vías diseñadas en la presa El Gato se proyectan en zonas donde en la actualidad no hay intervención, respecto a las vías Sustitutiva 1, 2, 3 y 4, existe carretables de bajas especificaciones, que se afecta en un tramo por el reservorio, por lo cual se diseñan las vías sustitutivas.

6. CRITERIOS DE DISEÑO

6.1. CRITERIOS DE DISEÑO VIAL

Teniendo en cuenta las estructuras requeridas para el desarrollo del estudio, a continuación se presentan los parámetros y criterios de diseño geométrico que se implementaron para el diseño de las carreteras, utilizando como base los requerimientos y recomendaciones del “Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales del Ministerio de Obras Públicas de Panamá MOP” y de la norma AASHTO 2011.

Los criterios y parámetros de diseño geométrico seleccionados son la base para definir los elementos que componen los alineamientos verticales y horizontales, de manera que las carreteras diseñadas sean funcionales, cómodas y seguras para el usuario.

Para la definición y selección de los criterios de diseño que se presentan en este numeral, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Facilitar el tránsito vehicular para la ejecución del potencial reservorio.
- Definir las características geométricas y de operación con base en el tipo de terreno identificado.
- Definir los trazados viales y las pendientes que generen la menor cantidad de movimiento de tierras.
- Definir el trazado vial que facilite la inspección y el mantenimiento de las carreteras para garantizar la funcionalidad y seguridad de las mismas.



6.1.1. VEHÍCULO DE DISEÑO

Con base en las características funcionales de las carreteras, se utilizará como vehículo de diseño un camión de tipo WB-19, cuyas dimensiones se pueden observar en la Figura 1. Para la selección del vehículo se tuvo en cuenta el tipo de vehículo que presentará las mayores exigencias sobre las carreteras.

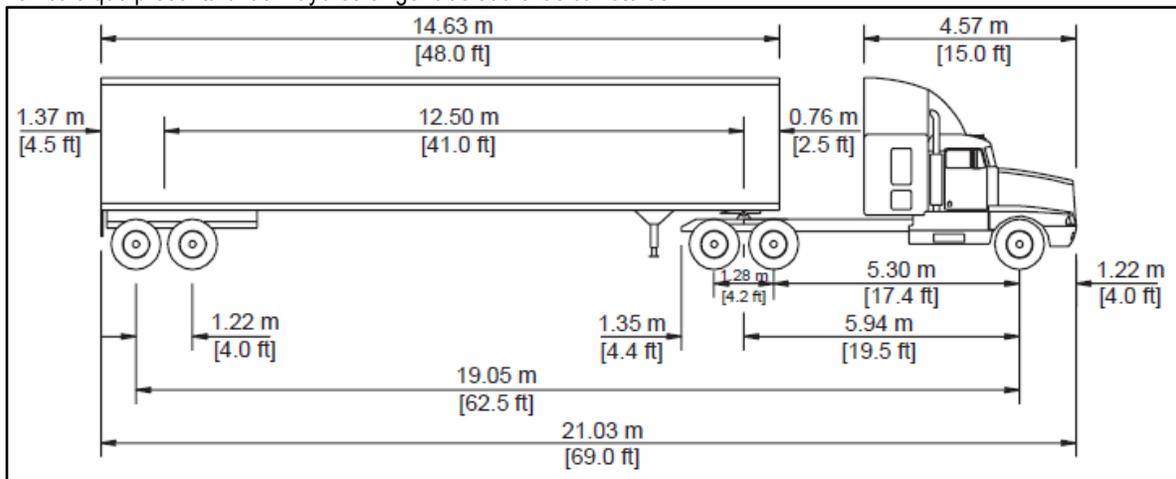


Figura 1. Vehículo de diseño
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 201

6.1.2. VELOCIDAD DE DISEÑO

Teniendo en cuenta el tipo de terreno escarpado y las características operacionales y funcionales de las carreteras requeridas, se adoptará una velocidad de diseño de 30 km/h, con el fin de asegurar que los vehículos puedan transitar sobre las carreteras en condiciones seguras. A partir de la velocidad de diseño seleccionada, se dimensionaron los elementos geométricos de planta y perfil, verificando que estos cumplan con las dimensiones mínimas especificadas en la normativa aplicable.

6.1.3. RADIO MÍNIMO DE GIRO

El radio mínimo de giro corresponde al valor límite de curvatura que requiere el vehículo de diseño para girar a la velocidad de diseño seleccionada. Con base en las recomendaciones del Manual de la AASHTO de 2011 se adoptará un radio de 21 m, para una carretera con peralte máximo del 6% y un coeficiente de fricción transversal de 0.28 (ver Tabla 1). Cabe resaltar que el radio mínimo de curvatura únicamente se debe utilizar en situaciones extremas donde sea inevitable la aplicación de radios mayores.

Tabla 1. Radio mínimo de acuerdo con el peralte y coeficiente de fricción

Metric					
Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Total (e/100 + f)	Calculated Radius (m)	Rounded Radius (m)
15	4.0	0.40	0.44	4.0	4
20	4.0	0.35	0.39	8.1	8
30	4.0	0.28	0.32	22.1	22
40	4.0	0.23	0.27	46.7	47
50	4.0	0.19	0.23	85.6	86
60	4.0	0.17	0.21	135.0	135
70	4.0	0.15	0.19	203.1	203
80	4.0	0.14	0.18	280.0	280
90	4.0	0.13	0.17	375.2	375
100	4.0	0.12	0.16	492.1	492
15	6.0	0.40	0.46	3.9	4
20	6.0	0.35	0.41	7.7	8
30	6.0	0.28	0.34	20.8	21
40	6.0	0.23	0.29	43.4	43
50	6.0	0.19	0.25	78.7	79
60	6.0	0.17	0.23	123.2	123
70	6.0	0.15	0.21	183.7	184
80	6.0	0.14	0.20	252.0	252
90	6.0	0.13	0.19	335.7	336
100	6.0	0.12	0.18	437.4	437
110	6.0	0.11	0.17	560.4	560
120	6.0	0.09	0.15	755.9	756
130	6.0	0.08	0.14	950.5	951

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

6.1.4. PENDIENTES LONGITUDINALES

De acuerdo con la norma AASHTO 2011, para garantizar el control del drenaje superficial de las carreteras la pendiente longitudinal mínima no deberá ser inferior al 0,3% en casos donde la superficie sea pavimentada y 0,5% en superficies sin pavimentar.

Por otro lado, la norma AASHTO 2011 recomienda que para velocidades de 30 km/h en vías rurales locales con terreno montañoso se utilice una pendiente longitudinal máxima del 16% con el fin de que el diseño sea flexible y se acomode a la topografía y a las condiciones del terreno existentes.

Tabla 2. Pendiente máxima para vías rurales locales

Type of Terrain	Metric								
	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Level	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Rolling	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Mountainous	17	16	15	14	13	12	10	10	—

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

6.1.5. LONGITUD MÍNIMA DE LAS CURVAS VERTICALES

La longitud mínima de las curvas verticales se determina en función del criterio de operación descrito en el manual de la AASHTO de 2011. Con el fin de evitar al usuario la sensación de cambios súbitos debido a un cambio de pendiente longitudinal, se definirá un parámetro K mediante el cual se podrá hacer un control sobre la distancia de visibilidad de parada y obtener la longitud mínima de la curva vertical de acuerdo con la Tabla 3 y con la Tabla 4.

Tabla 3. Criterios de diseño para curvas verticales convexas con base en la distancia de visibilidad de parada

Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Metric	
		Rate of Vertical Curvature, K^a	
		Calculated	Design
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95
130	285	123.4	124

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

Tabla 4. Criterios de diseño para curvas verticales cóncavas con base en la distancia de visibilidad de parada

Metric			
Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^a	
		Calculated	Design
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

6.1.6. SECCIONES TRANSVERSALES

Para los accesos a obras y las vías sustitutivas se manejó un ancho de carril de 3,65 m, y un ancho de carril de 3,0 m para los accesos a los sistemas de bombeo, ya que son vías de menor importancia y de uso intermitente.

6.1.7. RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Con base en la normatividad vigente adoptada, se definieron los parámetros de diseño tanto en planta como en perfil y sección transversal para los distintos corredores, esto teniendo en cuenta las características físicas y topográficas de la zona de influencia del proyecto. La Tabla 5 resume los parámetros adoptados para el diseño del proyecto.

Tabla 5. Parámetros mínimos de diseño geométrico

Criterio de diseño	Parámetro	Fuente
Vehículo de diseño	WB 19 Dimensiones del vehículo de diseño	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 2-23
Velocidad de diseño	30 km/h	
Radio mínimo de giro	21 m	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 3-32
Pendientes longitudinales	Pendiente longitudinal mínima: 0.3 % Pendiente longitudinal máxima: 14 %	Manual de la AASHTO de 2011 , pg. 3-119, 5-3
Longitud mínima de las curvas verticales	Tasa de curvatura vertical curva en cresta K: 2 Tasa de curvatura vertical curva cóncava K: 6	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 3-155, 3-161

Parámetro K		
Bombeo normal	Carreteras en afirmado: 3 %	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 4-6
Secciones transversales	Ancho de carril: 3.65 m Ancho de carril sistemas de bombeo: 3.0 m	

6.2. CRITERIOS HIDROLÓGICOS

Para los análisis hidrológicos e hidráulicos asociados al sistema de drenaje de los acceso viales del proyecto se siguieron las recomendaciones del “Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales del Ministerio de Obras Públicas de Panamá” y del “Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica”.

Para los análisis hidrológicos se tuvo en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- En la estimación de los caudales de diseño de las obras de drenaje de acuerdo con el MOP, “El método racional se aceptará sólo para cálculos de soluciones pequeñas con áreas de drenaje menores de 250 hectáreas y otros métodos para áreas de drenajes mayores de 250 hectáreas, inclusive”. (Ministerio de obras públicas de Panamá). Por lo tanto, para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se utilizó el Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² los caudales máximos se calcularon por el método directo de transposición de caudales a partir de la información de caudal recopilada en la estación Atalayita ubicada en el río La Villa.
- El periodo de retorno de diseño de las obras de drenaje se adoptó de acuerdo con las recomendaciones del MOP, tal como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Periodos de retorno de diseño obras de drenaje.

Estructura	Periodo de retorno (Años)
*Alcantarillas pluviales, los aliviaderos de sistemas pluviales y zanjas de drenajes pluviales	10
Canalización de ríos o quebradas	50
Entubamiento, cajones pluviales, muros de retén en cauces y otras estructuras permanentes	50
Puentes sobre cauces	100

Fuente: Ministerio de obras públicas de Panamá - MOP, pág. 82.

*En el Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica (DACGER, 2016) se recomienda que para alcantarillas y zanjas de drenaje se utilice un periodo de retorno de 20 años, dado que con este periodo de retorno se logra un diseño más conservador tomando en cuenta los fenómenos de huracanes de la zona, se decide adoptar la recomendación de este manual.

6.3. CRITERIOS HIDRÁULICOS

Para los análisis hidráulicos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- La velocidad mínima de diseño se adoptó en 1.0 m/s, con el fin de evitar sedimentación.

- Tomando en cuenta que tanto las obras transversales y longitudinales se proyectaron en concreto, se adoptó como velocidad máxima de diseño 5.0 m/s.
- El diámetro mínimo de las alcantarillas es de 0.9 m, con el fin de facilitar las labores de limpieza.
- El recubrimiento mínimo de las alcantarillas desde la rasante de la vía hasta la clave de la tubería es de 1.0 m.
- La relación tirante h/D para las alcantarillas no debe exceder el valor de 0.8.
- La relación Hw/D para las alcantarillas no debe exceder el valor de 1.2.

6.4. CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN

Para calcular los índices de cantidades de señalización se tuvo en cuenta el alineamiento de las vías, estimando el número de señales según la cantidad y la deflexión de las curvas presentes y la presencia de intersecciones con la finalidad de establecer una ubicación preliminar de las señales de la siguiente manera:

- Señales preventivas de curva (P-1-1, P-1-2, P-1-3, P-1-4, P-1-5): Antes de la presencia de las curvas y según su deflexión.
- Señales reglamentarias (R-2-1, R-13-1): Antes del ingreso a las curvas.
- Chevron (P-1-9): Se ubican sobre curvas con más de 40° de deflexión y a una distancia promedio de 18 metros (calculada a partir de trabajos anteriores).
- Defensas metálicas: Se ubican sobre las curvas que contienen señal de Chevron (P-1-9) y terraplén.

Los indicadores de cantidades de señalización se calcularon de la siguiente manera:

- Indicador señales verticales: Se da en unidades por km (und/km), se calcula dividiendo el número de señales entre la longitud de la vía.
- Indicador defensa: Se da en metros por km (m/km), se calcula dividiendo la longitud de las defensas metálicas entre la longitud de la vía.

7. DISEÑO DE VÍAS

Con el fin de acceder a las diferentes obras del proyecto, y además para sustituir las vías que se afectan por los embalses, en la presa El Gato se realizó el diseño conceptual de las vías presentadas en la Figura 2.

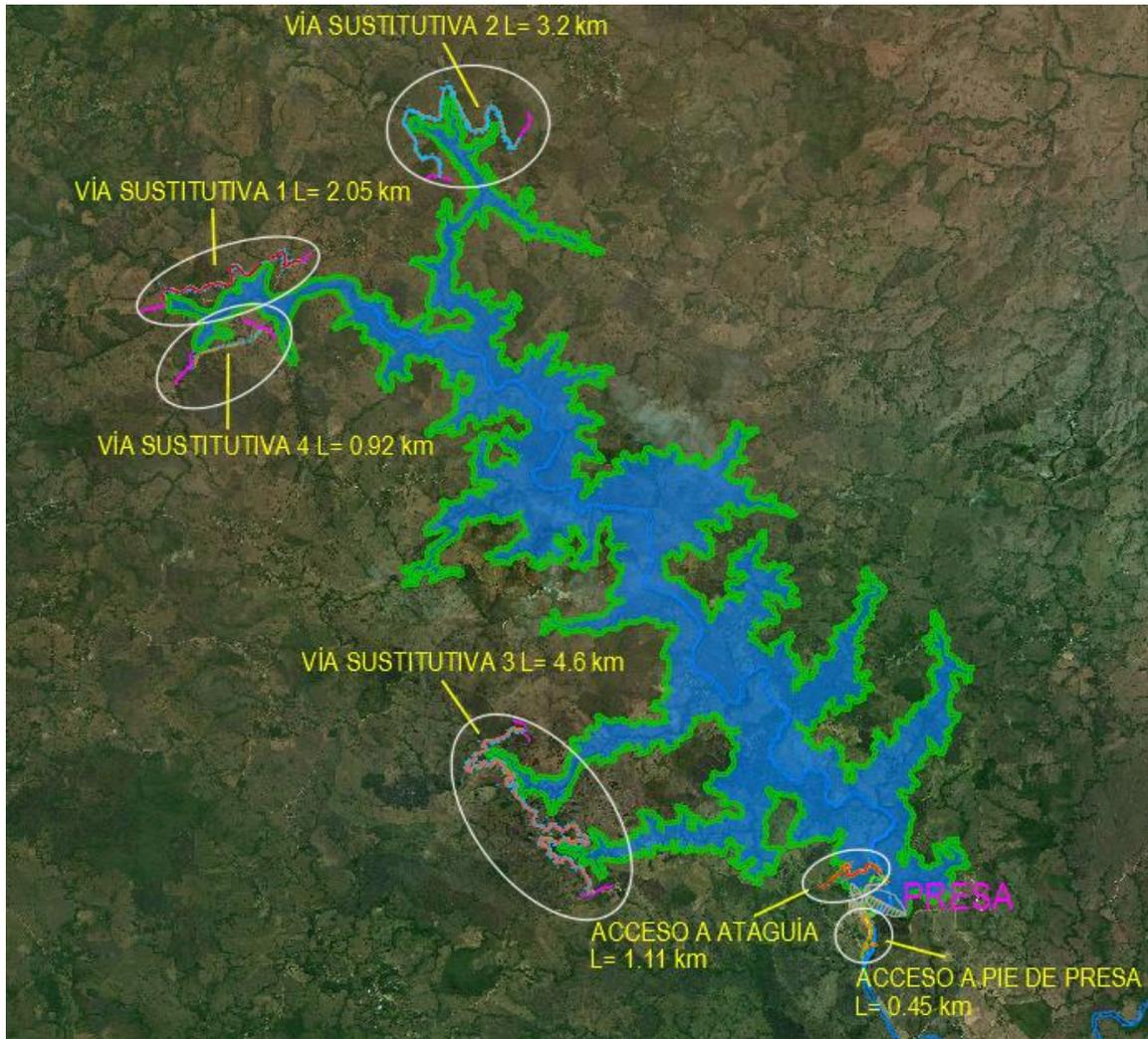


Figura 2. Vías diseñadas zona de obras cuenca La Villa - Presa El Gato

7.1. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD



Se realizó un análisis de conectividad y se definieron vías Sustitutivas en los puntos donde la red vial se ve interrumpida por el área de inundación del reservorio y se puede reestablecer con el diseño de un tramo vial. Para los caso de las vías agrícolas que quedan totalmente inundadas y que requerirían vías sustitutivas muy largas bordeando el reservorio, se debe evaluar la necesidad de muelles en la siguiente etapa de diseño.

El análisis de conectividad realizado en la cuenca El Gato se presenta en la Figura 3.

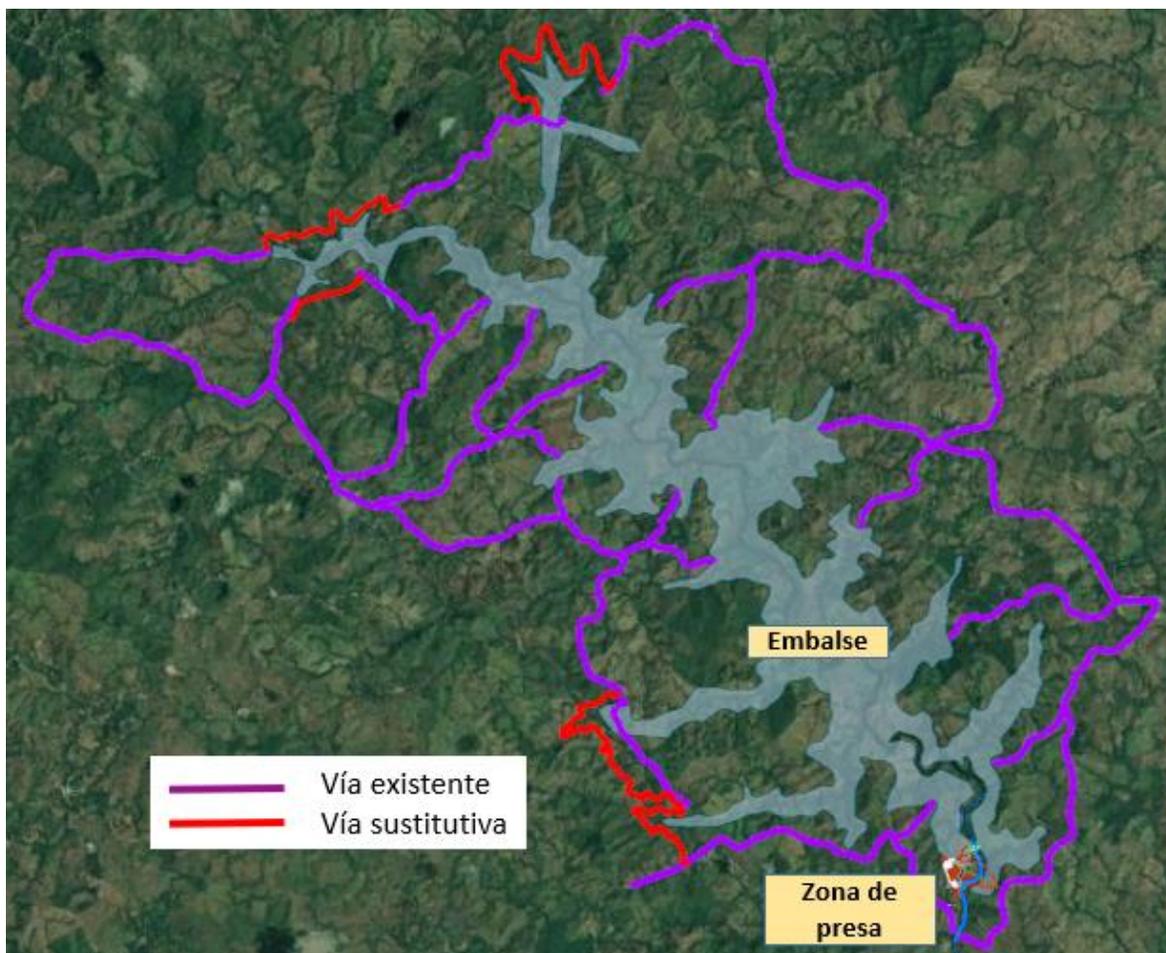


Figura 3. Definición vías sustitutivas

7.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS

En la Tabla 7 se presenta la descripción, longitud y función de cada una de las vías diseñadas.

Tabla 7. Vías diseñadas - cuenca La Villa - Presa El Gato

EJE DE DISEÑO	LONG (km)	TIPO DE ACABADO	USO
Acceso a pie de presa, portal salida y contraatagüa	0,45	Material de subbase compactado	Tramo de vía para acceder a la parte baja de la presa y zona de la contraatagüa durante construcción.
Acceso a atagüa y portal entrada	1,11	Material de subbase compactado	Tramo de vía para acceder a portal de entrada del túnel de desviación durante construcción.
Vía sustitutiva 1	2,05	Material de subbase compactado	Tramo para sustituir una vía afectada por el embalse y garantizar la conectividad.

Vía sustitutiva 2	3,20	Material de subbase compactado	Tramo para sustituir una vía afectada por el embalse y garantizar la conectividad.
Vía sustitutiva 3	4,60	Material de subbase compactado	Tramo para sustituir una vía afectada por el embalse y garantizar la conectividad.
Vía sustitutiva 4	0,92	Material de subbase compactado	Tramo para sustituir una vía afectada por el embalse y garantizar la conectividad.

7.2.1. Acceso a pie de presa, portal salida y contraatagüa

El acceso a pie de presa es una vía con una longitud de 0,45 km que sirve para llegar a la parte baja de la presa y contraatagüa durante su construcción.

Parte desde un empalme con una vía existente sin pavimentar en la abscisa K0+000 con cota 123,97 y desciende hasta finalizar en la abscisa K0+450,68 con cota 109,00 donde se localiza el portal de salida y muy cerca de la contraatagüa y el pie de presa, desarrollándose por un terreno lomerío-montañoso con pendiente que varía entre 2,8% y 8,9%. Se tienen taludes de corte 0,75H: 1,0V y de terraplén 1,5H: 1,0V. Su superficie de rodadura es en material de subbase compactado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

En esta vía se generó el siguientes muro:

- K0+024 - K0+067

Para este trazado se empleó topografía lidar.

En la Figura 4 se presenta el trazado del acceso a pie de presa.

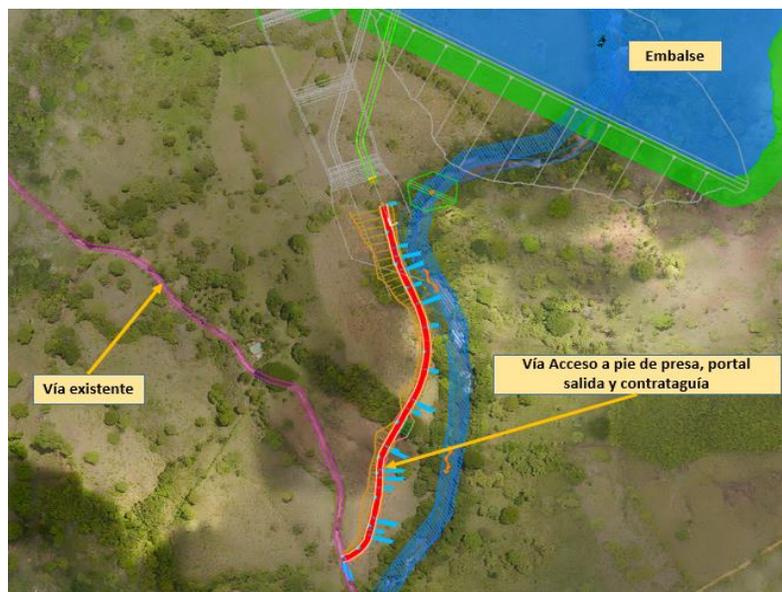


Figura 4. Acceso a pie de presa, portal salida y contraatagüa

7.2.2. Acceso a atagüa y portal de entrada

El acceso a ataguía es una vía temporal con una longitud de 1,1 km de longitud que sirve para acceder a la parte baja de la ataguía y portal salida durante su construcción.

El K0+000 inicia en la parte alta donde se desprende de una vía existente sin pavimentar en la cota 218,75 y desciende por un terreno montañoso hasta pasar por la parte superior del portal entrada y por último llega a la ataguía en el K1+108,79 cota 116; a lo largo del trayecto se tiene pendientes que varían entre 0,5% y 14%. Tiene taludes de corte 0,75H: 1,0V y de terraplén 1,5H: 1,0V. Su superficie de rodadura es en material de subbase compactado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

Para este trazado se empleó topografía lidar.

En la Figura 5 se presenta el trazado del acceso a ataguía.



Figura 5. Acceso a ataguía y portal de entrada



7.2.3. Vía sustitutiva 1

Esta vía se diseñó para sustituir un tramo de vía que se afecta por el embalse. Se diseñó para una velocidad de 30 km/h teniendo en cuenta que esas son las características del tramo de vía afectada. Con este trazado se garantiza la conectividad vial en la zona.

El diseño se realizó respetando una franja de reserva de 30 metros medidos a partir del límite del embalse; parte de la vía existente sin pavimentar en la abscisa K0+000 cota 198,49, se desarrolla por un terreno lomerío-montañoso hasta llegar a la abscisa K2+045,92 en la cota 229,19 manejando una pendiente variable entre 0,5% y 11%, y empalmando nuevamente con la vía existente.

La vía tiene 2,05 km de longitud, con taludes de corte 0,75H: 1,0V y de terraplén 1,5H: 1,0V. Su superficie de rodadura es en material de subbase compactado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

Debido a que la vía pasa por dos cauces de gran caudal es necesario diseñar puentes en las siguientes abscisas:

- K0+120 - K0+180
- K1+480 - K1+520

Para este trazado se empleó topografía del modelo Jaxa.

En la Figura 6 se presenta el esquema de la vía sustitutiva 1.



Figura 6. Vía sustitutiva 1 - Cuenca La Villa presa El Gato



7.2.4. Vía sustitutiva 2

Esta vía se diseñó para sustituir un tramo de vía que se afecta por el embalse. Se diseñó para una velocidad de 30 km/h teniendo en cuenta que esas son las características del tramo de vía afectada. Con este trazado se garantiza la conectividad vial en la zona.

El diseño se realizó respetando una franja de reserva de 30 metros medidos a partir del límite del embalse, parte de la vía existente sin pavimentar en la abscisa K0+000 cota 263,53, se desarrolla por un terreno montañoso hasta llegar a la abscisa K3+201,06 en la cota 276,35 manejando una pendiente variable entre 0,5% y 11,9%.

La vía tiene 3,20 km de longitud, con taludes de corte 0,75H: 1,0V y de terraplén 1,5H: 1,0V. Su superficie de rodadura es en material de subbase compactado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

Debido a que la vía pasa por dos cauces de gran caudal es necesario diseñar puentes en las siguientes abscisas:

- K0+900 - K0+970
- K1+560 - K1+620
- K2+570 - K2+640

Para este trazado se empleó topografía del modelo Jaxa.

En la Figura 7 se presenta el esquema de la vía sustitutiva 2.

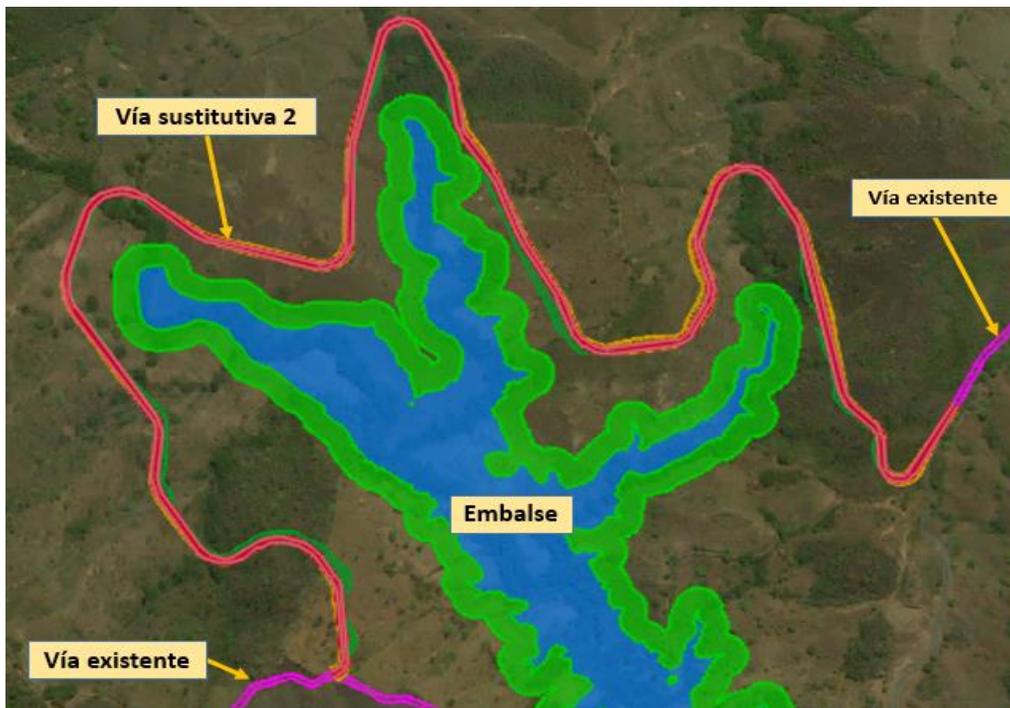


Figura 7. Vía sustitutiva 2 - Cuenca La Villa - Presa El Gato



7.2.5. Vía sustitutiva 3

Esta vía se diseñó para sustituir un tramo de vía que se afecta por el embalse. Se diseñó para una velocidad de 30 km/h teniendo en cuenta que esas son las características del tramo de vía afectada. Con este trazado se garantiza la conectividad vial en la zona.

El diseño se realizó respetando una franja de reserva de 30 metros medidos a partir del límite del embalse, parte de la vía existente sin pavimentar en la abscisa K0+000 cota 223,96, se desarrolla por un terreno lomerío-montañoso hasta llegar a la abscisa K4+599,06 en la cota 247,11 manejando una pendiente variable entre 0,5% y 12%, y empalmando nuevamente con la vía existente.

La vía tiene 4,59 km de longitud, con taludes de corte 0,75H: 1.0V y de terraplén 1,5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

Debido a que la vía pasa por tres cauces de gran caudal es necesario diseñar puentes en las siguientes abscisas:

- K0+049.91 - K0+069.65
- K0+217.95 - K0+250.15
- K0+944.67 - K0+964.74
- K1+222.41 - K1+250.79

Adicionalmente en esta vía se generan los siguientes muros:

- K0+042.15 - K0+049.91
- K0+069.65 - K0+089.53
- K0+250.15 - K0+259.59
- K0+944.63 - K0+944.67
- K1+103.03 - K1+122.71

- K1+193.63 - K1+222.41
- K1+250.79 - K1+263.61

Para este trazado se empleó topografía lidar.

En la Figura 8 se presenta el esquema de la vía sustitutiva 3.

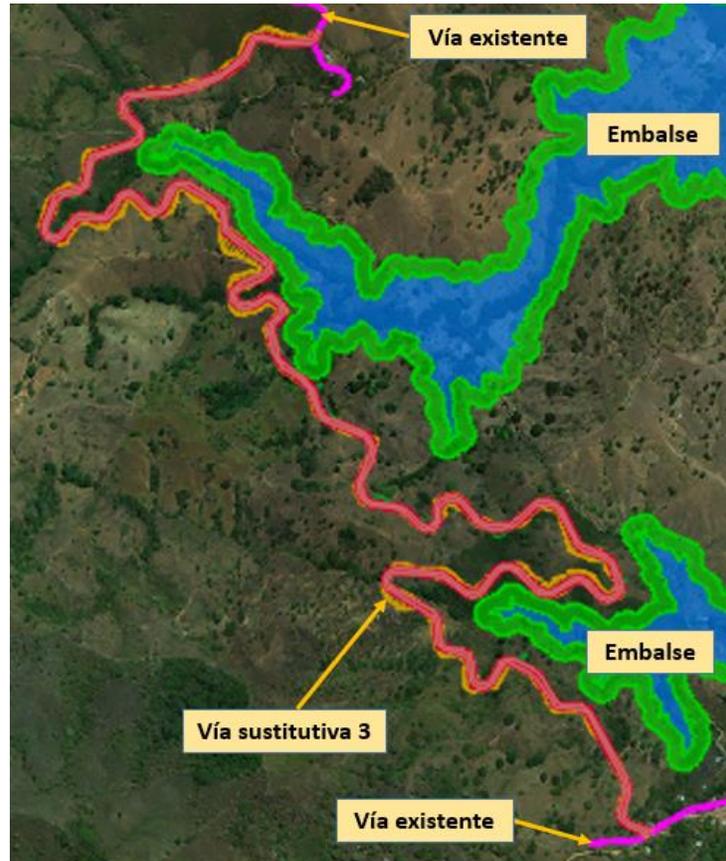


Figura 8. Vía sustitutiva 3 - Cuenca La Villa - presa El Gato



7.2.6. Vía sustitutiva 4

Esta vía se diseñó para sustituir un tramo de vía que se afecta por el embalse. Se diseñó para una velocidad de 30 km/h teniendo en cuenta que esas son las características del tramo de vía afectada. Con este trazado se garantiza la conectividad vial en la zona.

El diseño se realizó respetando una franja de reserva de 30 metros medidos a partir del límite del embalse, parte de una vía existente sin pavimentar en la abscisa K0+000 cota 204,37, se desarrolla por un terreno lomerío hasta llegar a la abscisa K0+924,64 en la cota 187,60 manejando una pendiente variable entre 0,6% y 11,6%, y empalmando nuevamente con la vía existente.

La vía tiene 0,92 km de longitud, con taludes de corte 0,75H: 1,0V y de terraplén 1,5H: 1,0V. Su superficie de rodadura es en material de subbase compactado, el ancho de calzada es de 7,30 m, bombeo normal 3,0% y cunetas de 1,0 m de ancho.

Para este trazado se empleó topografía del modelo Jaxa.

En la Figura 9 se presenta el esquema de la vía sustitutiva 4.

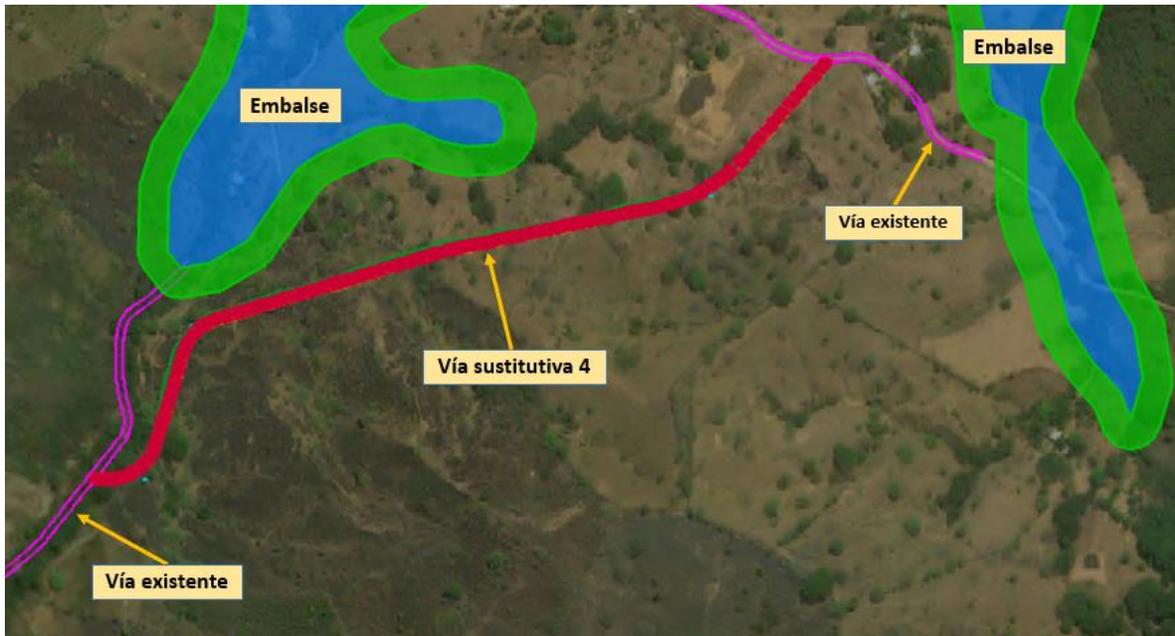


Figura 9. Vía sustitutiva 4 - Cuenca La Villa - presa El Gato

8. RESULTADOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

8.1. PLANOS

Como resultado del diseño geométrico se emitieron planos generales y planos de planta-perfil de los corredores mencionados. En los planos generados se incluye el diseño geométrico en planta y en perfil con sus respectivos cuadros de elementos de curvatura y peraltes.

Los planos de diseño geométrico del proyecto se presentan en el Anexo 1.

8.2. MEMORIAS DE CÁLCULO

8.2.1. Cálculo de cantidades de obra

Para cada una de las vías diseñadas, a partir del modelo digital del terreno alineamientos en planta, alineamientos en perfil y secciones transversales generadas, se calcularon con el software de diseño Civil 3D, los volúmenes cada 10 metros de movimientos de tierra, terraplenes, cunetas, carpeta asfáltica, base, subbase y recebo a nivel de diseño conceptual, los resúmenes de cantidades de explanación y estructura de pavimento se presentan en la Tabla 8 y en la Tabla 9.

Tabla 8. Resumen volúmenes de explanación

<u>Eje de Diseño</u>	<u>Longitud (km)</u>	<u>Vol. Corte (m³)</u>	<u>Vol. Relleno (m³)</u>
Vía Acceso Ataguía y Portal Entrada	1,11	91480	1409
Vía Acceso Pie de Presa y Portal Salida	0,45	39509	1053
Vía sustitutiva 1	2,05	26470	2882
Vía sustitutiva 2	3,20	56717	17784
Vía sustitutiva 3	4,59	399771	11860
Vía sustitutiva 4	0,92	5709	3344
Total	12,3	619657	38332

Tabla 9. Resumen volúmenes de pavimento

<u>Eje de Diseño</u>	<u>Longitud (km)</u>	<u>Subbase (m³)</u>	<u>Recebo (m³)</u>	<u>Tosca (m³)</u>
Vía Acceso Ataguía y Portal Entrada	1,11	3992	2108	2414
Vía Acceso Pie de Presa y Portal Salida	0,45	1622	843	959
Vía sustitutiva 1	2,05	7102	3551	3977
Vía sustitutiva 2	3,20	10954	5477	6134
Vía sustitutiva 3	4,59	16343	8172	9152
Vía sustitutiva 4	0,92	3375	1687	1890
Total	12,3	43387,8	21837,1	24525,5

Los listados detallados de cantidades de obra se presentan en el Anexo 2



8.2.2. Reportes de alineamiento

Para facilitar la ubicación de cada vía en el terreno, se generaron carteras de localización, en las que se presentan las coordenadas y cotas de los ejes viales cada 10.0 metros.

En el Anexo 3 se presentan las carteras de localización de cada una de las vías diseñadas.

9. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

9.1. CONFIGURACIÓN DE TALUDES

Para el cálculo de cantidades de explanación, se definió en el modelo de diseño un talud de corte con relación 0,75H: 1,0 V y un talud de relleno 1,5H: 1,0V.

9.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Las estructuras de pavimentos empleadas en los diseños viales se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Estructuras de pavimento

Tipo Vía	ESTRUCTURA PAVIMENTO			MEJORAMIENTO		
	e HORMIGÓN ASFÁLTICO	e BASE GRANULAR	e SUBBASE GRANULAR	e RECEBO	e TOSCA	CBR SUBRASANTE
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
Pavimentada	16	25	30	25	28	1.6
Sin pavimentar	-	-	50	25	28	1.6

La definición de parámetros geotécnicos está soportada en el informe de geotecnia.

10. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS

El análisis hidrológico de las cuencas interceptadas por los trazados viales propuestos se realizó a partir de los lineamientos establecidos en el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas de Panamá. A continuación, se presentan los análisis realizados.

10.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

10.1.1. Información hidrológica

La información hidrológica utilizada en los análisis de la zona en estudio se consultó en el Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá como se presenta a continuación.

10.1.2. Información cartográfica

La delimitación de las áreas de drenaje realizó tomando como base un Modelo Digital de Terreno (DTM) a partir de información Jaxa.

El Modelo Digital de Elevación para la zona en estudio o Modelo Digital de Terreno (DTM) se desarrolló a partir de información Jaxa, de esta información se definieron las curvas de nivel y la red de drenaje de las cuencas intervenidas por los trazados viales propuestos. Esta información, fue el insumo base para la caracterización morfométrica de las cuencas y estimación de los caudales de diseño.

10.2. METODOLOGÍA

Para el dimensionamiento de las obras de drenaje, se delimitaron las cuencas aferentes a éstas, posteriormente se determinaron las características morfométricas (área de drenaje, pendiente, tiempo de concentración) e hidrológicas (Coeficiente de escorrentía e intensidad de precipitación) requeridas para el cálculo de los caudales máximos.

Los estudios hidrológicos desarrollados se enfocaron en la definición de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, con el propósito de dimensionar las obras de drenaje proyectadas para el correcto manejo de la escorrentía superficial que se genera en las áreas aferentes y el corredor vial.

10.3. ANÁLISIS DE CAUDALES

Los caudales máximos para las áreas de drenaje aferentes a cada obra hidráulica se calcularon teniendo en cuenta el área de drenaje de cada cuenca: para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se utilizó el Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² se realizó transposición de caudales a partir de los caudales máximos estimados en la estación Atalayita mediante ajustes estadísticos de caudales máximos instantáneos.

10.3.1. Caracterización morfométrica de las cuencas

Teniendo en cuenta la información cartográfica de referencia se calcularon los siguientes parámetros morfométricos: área de drenaje, perímetro, longitud del cauce principal, pendiente del cauce principal y tiempo de concentración, los cuales se definen a continuación:

- Área de drenaje: Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica. En el plano 0355401-PG-CD-CUEN-04-EG-0001 se presentan las cuencas delimitadas.
- Perímetro: Corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca de drenaje.
- Longitud del cauce principal: Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de confluencia con otro cauce o hasta el punto de interés a caracterizar.
- Pendiente del cauce (S): La pendiente media del cauce principal se determinó mediante la metodología de Taylor - Schwartz, que tiene la formulación mostrada en la Ecuación 1. En el Anexo 4 se presenta la estimación de la pendiente.

$$S = \left[\sum \frac{L_i}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_i}}\right)} \right]^2$$

Ecuación 1.

Donde:

S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

S_i = Pendiente media del tramo (m/m)

L_i = Longitud del tramo entre curvas de nivel (m)

- Tiempo de concentración: El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés. Para las cuencas analizadas, el tiempo de concentración se calculó utilizando diferentes metodologías con el fin de aumentar el grado de certeza. En la Tabla 11 se presentan las diferentes metodologías utilizadas.

Tabla 11. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$T_c = 0.06628 \left(\frac{L_D}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Témez	$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$T_c = 0.683 \left(\frac{LA^{0.40}}{DS^{0.25}} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km ²)
Bransby – Williams	$T_c = \frac{14.6L}{A^{0.1}S^{0.2}}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)

Giandotti	$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{LS}} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)
Johnstone y Cross	$T_c = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS – Ranser	$T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
Ventura – Heras	$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$T_c = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del cálculo de tiempos de concentración se aplicaron varias metodologías empíricas deducidas en otros países cuyas cuencas de estudio poseen características diferentes entre sí; por ejemplo, el método de Kirpich fue deducido en pequeñas cuencas agrícolas (áreas entre 0.004 y 0.453 km²) de Tennessee y Pensilvania, mientras que el SCS desarrolló su ecuación como la suma de tiempos de viaje individual para diferentes regiones (áreas menores a 8 km²), desde zonas boscosas con cauces pendientes a planicies con escorrentía lenta y zonas impermeables. Por otro lado, las ecuaciones empíricas no tienen en cuenta el efecto de la vegetación, a excepción de las que involucran número de curva o coeficiente de escorrentía. Estos aspectos aumentan el grado de incertidumbre en el cálculo del tiempo de concentración.

Por lo anterior, el tiempo de concentración se adoptó como el promedio de los tiempos de concentración estimados con las diferentes metodologías empíricas presentadas, descartando previamente los valores que se encuentran por fuera del rango de confianza definido por la media aritmética y la desviación estándar de los resultados mencionados (media menos desviación estándar hasta media más desviación estándar).

En el Anexo 5 se presenta el cálculo del tiempo de concentración para las cuencas analizadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que para las cuencas del orden de 0.1 km² el tiempo de concentración es menor a 15 minutos, por lo tanto, para esas cuencas y cuencas con áreas menores se adoptó 15 minutos de tiempo de concentración y no se estimaron los parámetros morfométricos de longitud y pendiente.

Se adoptó un tiempo de concentración mínimo de 15 min con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en las cuencas y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría al realizar los análisis con valores menores a este tiempo de concentración.

En la Tabla 12 se presenta el resumen de características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas principales cuyas áreas de drenaje son superiores a 0.1 km².

Tabla 12. Características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas en estudio para áreas mayor a 0.2 km².

Tramo	No. Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce (m/m)	tc (min)
Vía sustitutiva 1	VS1-8	0.72	3.85	2.05	0.0379	45
Vía sustitutiva 2	VS2-8	1.23	5.71	2.34	0.0233	63
Vía sustitutiva 3	VS3-8	0.41	3.09	1.17	0.0891	26
	VS3-19	0.11	1.49	0.41	0.2109	15
	VS3-22	1.29	5.17	2.20	0.0264	59
	VS3-24	0.93	4.19	1.40	0.0348	33
Acceso presa	PRE-2	0.12	1.79	0.76	0.0871	18

Fuente: Elaboración propia.

10.3.2. Método racional

Comúnmente utilizado en hidrología para generar caudales máximos en cuencas pequeñas o menores donde no existe información hidrométrica; consiste en la estimación del caudal máximo suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación durante el tiempo de concentración de la cuenca. La suposición de la uniformidad de la precipitación durante el tiempo de concentración es una aproximación que se hace teniendo en cuenta que en la realidad un evento de lluvia es uniforme durante el tiempo de concentración de la cuenca. De esta forma, el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca esté contribuyendo a la escorrentía en el sitio de concentración de las aguas. El "Método Racional" se expresa mediante la Ecuación 2.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Ecuación 2.

Donde:

Q = Caudal máximo, en m³/s.

C = Coeficiente de escorrentía, adimensional.

I = Intensidad de la lluvia, en mm/h.

A = Área de drenaje, en ha.

10.3.2.1. Coeficiente de escorrentía

El Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá, define que el coeficiente de escorrentía (C), varía de acuerdo con las características del terreno, forma de la cuenca y por la previsión de los probables desarrollos futuros.

Por lo anterior, para el diseño de las obras de drenaje se utilizaron los coeficientes de escorrentía estipulados en el Manual, los cuales se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Coeficientes de Escorrentía - Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá.

Coeficiente de escorrentía	Característica
0.85	Para diseños pluviales en áreas sub-urbanas y en rápido crecimiento
0.90 - 1.00	Para diseños pluviales en áreas urbanas deforestadas
1.00	Para diseños pluviales en áreas completamente pavimentadas

Fuente: (Ministerio de obras públicas de Panamá)

10.3.2.2. Intensidad de la precipitación

Las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) constituyen una forma de sintetizar la información de precipitación para las tormentas de corta duración, y en la mayoría de los casos, es el insumo básico para la estimación de tormentas o eventos de diseño en la modelación hidrológica.

La construcción de estas curvas se realizó a partir de las formulaciones consignadas en el Manual de Panamá para intensidades de lluvia de la vertiente del Pacífico para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, y 50 años. Las fórmulas se presentan desde la Ecuación 3 hasta la Ecuación 8.

- Periodo de retorno de 2 años

$$i = \frac{227}{tc + 29}$$

Ecuación 3.

- Periodo de retorno de 5 años

$$i = \frac{294}{tc + 36}$$

Ecuación 4.

- Periodo de retorno de 10 años

$$i = \frac{323}{tc + 36}$$

Ecuación 5.

- Periodo de retorno de 20 años

$$i = \frac{357}{tc + 37}$$

Ecuación 6.

- Periodo de retorno de 25 años

$$i = \frac{370}{tc + 37}$$

Ecuación 7.

- Periodo de retorno de 50 años

$$i = \frac{370}{tc + 33}$$

Ecuación 8.

Donde:

i = Intensidad en pulg./h

tc = Tiempo de concentración en minutos

En la Tabla 14 se presentan los valores de intensidad asociada al periodo de retorno y a la duración de la lluvia y en la Figura 10 se presenta gráficamente las curvas IDF.

Tabla 14. Valores de Intensidad en mm/h para diferentes periodos de retorno.

tc (min)	Tr (Años)					
	2	5	10	20	25	50
5	169.6	182.1	200.1	215.9	223.8	247.3
10	147.8	162.3	178.4	192.9	200.0	218.6
15	131.0	146.4	160.9	174.4	180.7	195.8
20	117.7	133.4	146.5	159.1	164.9	177.3
25	106.8	122.4	134.5	146.3	151.6	162.0
30	97.7	113.1	124.3	135.3	140.3	149.2
35	90.1	105.2	115.6	125.9	130.5	138.2
40	83.6	98.3	108.0	117.8	122.1	128.7
45	77.9	92.2	101.3	110.6	114.6	120.5
50	73.0	86.8	95.4	104.2	108.0	113.2
55	68.6	82.1	90.2	98.6	102.2	106.8
60	64.8	77.8	85.5	93.5	96.9	101.1
65	61.3	73.9	81.2	88.9	92.1	95.9
70	58.2	70.4	77.4	84.7	87.8	91.2
75	55.4	67.3	73.9	81.0	83.9	87.0
80	52.9	64.4	70.7	77.5	80.3	83.2
85	50.6	61.7	67.8	74.3	77.0	79.6
90	48.5	59.3	65.1	71.4	74.0	76.4
95	46.5	57.0	62.6	68.7	71.2	73.4
100	44.7	54.9	60.3	66.2	68.6	70.7
105	43.0	53.0	58.2	63.9	66.2	68.1
110	41.5	51.1	56.2	61.7	63.9	65.7
115	40.0	49.5	54.3	59.7	61.8	63.5
120	38.7	47.9	52.6	57.8	59.9	61.4
125	37.4	46.4	51.0	56.0	58.0	59.5
130	36.3	45.0	49.4	54.3	56.3	57.7
135	35.2	43.7	48.0	52.7	54.6	55.9
140	34.1	42.4	46.6	51.2	53.1	54.3
145	33.1	41.3	45.3	49.8	51.6	52.8
150	32.2	40.1	44.1	48.5	50.3	51.4
155	31.3	39.1	43.0	47.2	48.9	50.0
160	30.5	38.1	41.9	46.0	47.7	48.7
165	29.7	37.2	40.8	44.9	46.5	47.5
170	29.0	36.3	39.8	43.8	45.4	46.3
175	28.3	35.4	38.9	42.8	44.3	45.2
180	27.6	34.6	38.0	41.8	43.3	44.1

Fuente: Elaboración propia.

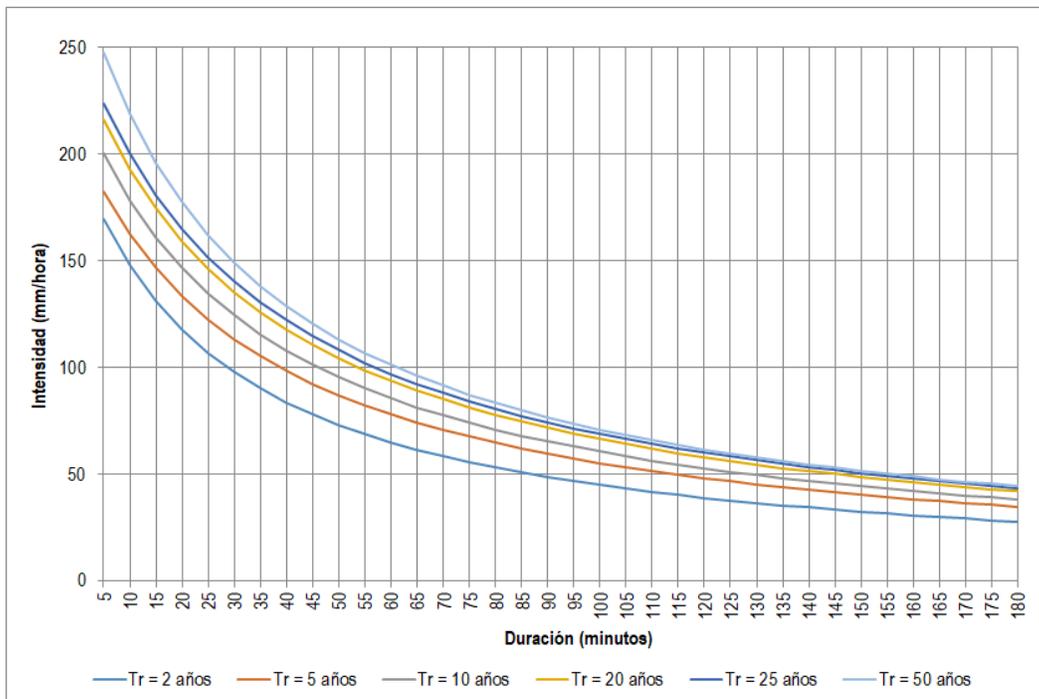


Figura 10. Curvas IDF a diferentes periodos de retorno.
Fuente: Elaboración INGETEC a partir MOP

10.3.3. Método directo basado en registros de caudales máximos instantáneos

Para la estimación de caudales máximos en la cuenca del río El Gato, se utilizaron los registros de caudal de la cuenca vecina del río La Villa. La cuenca del río La Villa cuenta con la estación hidrométrica Atalayita operada por ETESA la cual cuenta con registros desde el año 1967 hasta el año 2013. En la Tabla 15 se presentan las características de la estación y en la Figura 11 su localización.

Tabla 15. Descripción de la información de caudales máximos instantáneos recopilada

Cuenca	Código	Nombre	Corriente	Área (km ²)	Año inicio	Año fin
Río La Villa	128-01-03	Atalayita	La Villa	1000	1967	2013

Fuente: Elaboración propia.

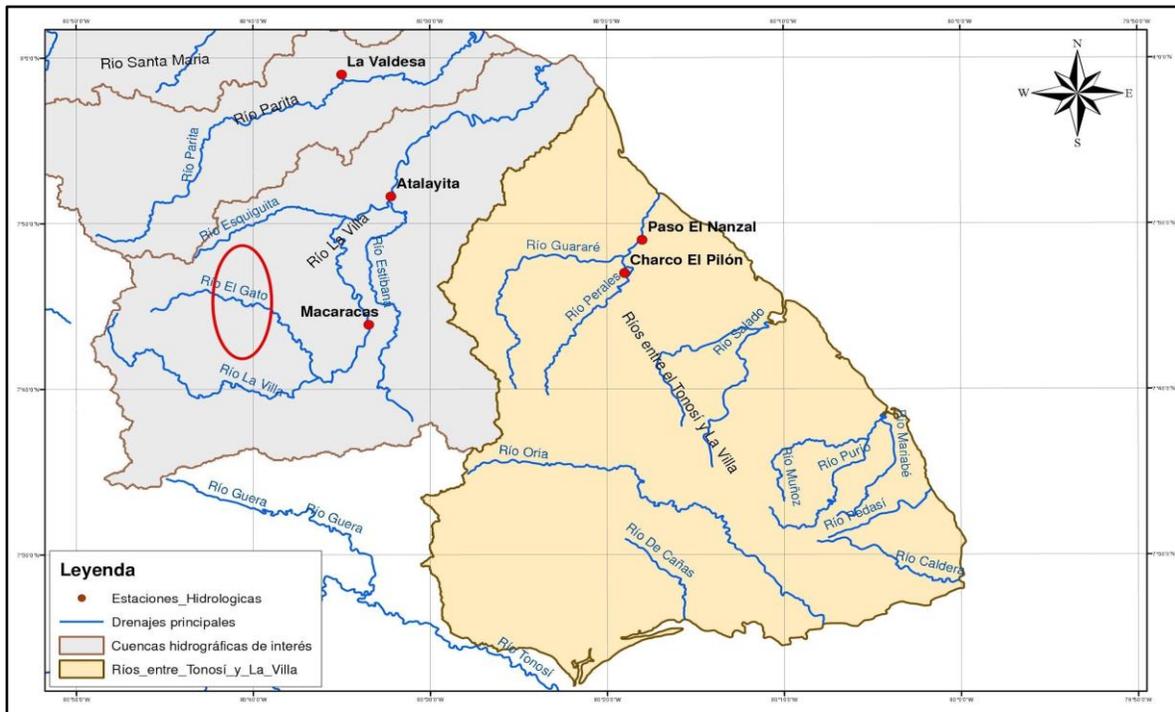


Figura 11. Localización estación hidrométrica Atalayita.
Fuente: Elaboración propia.

De los caudales máximos instantáneos registrados en la estación, se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, a partir del ajuste estadístico de diferentes distribuciones de probabilidad, entre ellas Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal y Extremos tipo 3 o Weibull (EV3). (Ver Figura 12).

Con la prueba χ^2 se seleccionó la mejor distribución para determinar los caudales máximos a diferentes periodos de retorno. La distribución seleccionada fue Gumbel. En la Tabla 16 se relacionan los caudales estimados para diferentes periodo de retorno en la estación Atalayita.

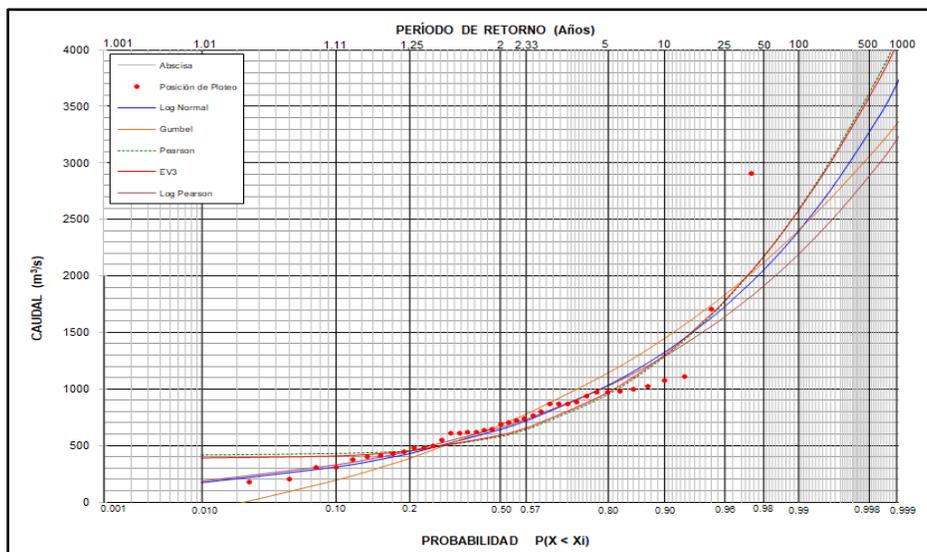


Figura 12. Ajusta probabilístico de caudales máximos Estación Atalayita – Río La Villa (128-01-03)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno en la estación Atalayita. Periodo 1967-2013.

Tr (Años)	Caudal (m³/s)
2	681.7
5	1142.8
10	1448.2
20	1741.0
25	1833.9
50	2120.1
Ajuste seleccionado	Gumbel

Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación de los caudales máximos para las áreas de drenaje mayores a 2.5 km² se realizó transposición de caudales a partir de los caudales máximos estimados en la estación Atalayita.

El traslado de caudales máximos se realizó mediante la Ecuación 9:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^n$$

Ecuación 9.

Donde:

Q_2 = Caudal máximo instantáneo en el sitio de interés

Q_1 = Caudal máximo instantáneo en la estación Atalayita

A_2 = Área de la cuenca en el sitio de interés

A_1 = Área en cuenca de la estación que se tienen registros (Atalayita: 1000 km²)

n = Factor de proporcionalidad que se encuentra en el intervalo de 0.5 – 0.8 (Flood Hydrology Manual. U.S. Department Of Interior – Bureau of Reclamation, 1992). En este caso se tomó $n=0.6$ deducido de la metodología de Análisis regional aplicado en las estaciones de referencia.

10.4. JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS

La selección del método a utilizar depende del área de drenaje de la cuenca. Así, para cuencas con área menor a 2.5 km² se utiliza el método racional y para cuencas con área mayor a 2.5 km² se utilizó el método directo de transposición de caudales.

El método racional se utilizó a partir de los lineamientos establecidos por el MOP en cuanto al coeficiente de escorrentía y la intensidad de la lluvia, esta última considerada para la vertiente del Pacífico. Estos métodos fueron previamente descritos en los numerales 6.3.2. y 6.3.3.

10.5. APLICACIÓN DE LAS TEORÍAS Y MÉTODOS DE PREDICCIÓN

De acuerdo con la metodología anteriormente expuesta y los parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas en estudio, se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

A partir de la aplicación del método de transposición de caudales referenciado anteriormente, se obtuvieron los caudales máximos para las cuencas con áreas mayores a 2,5 km², los cuales se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.

Sitios El Gato	Área (km)	Periodo de retorno (Años)					
		2	5	10	20	25	50
Estación Atalayita	1000	681.7	1142.8	1448.2	1741	1833.9	2120.1
VS1-1	71.901	140.5	235.5	298.4	358.8	377.9	436.9
VS1-6	2.924	20.6	34.5	43.7	52.5	55.3	64.0
VS2-3	13.544	51.6	86.5	109.6	131.8	138.8	160.5
VS2-5	4.414	26.3	44.1	55.9	67.3	70.8	81.9

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los caudales máximos obtenidos para las cuencas menores a 2.5 km² se presenta en la Tabla 18. Los caudales estimados para las cuencas analizadas se presentan en el Anexo 6.

Tabla 18. Caudales máximos obtenidos en todas las cuencas analizadas.

Tramo	No. Cuenca	Área	Área	tc	Periodo de retorno (Años)					
		(km ²)	(Ha)		2	5	10	20	25	50
El Gato Sustitutiva 1 (VS1)	2	0.069	6.9	15	2.13	2.38	2.61	2.83	2.94	3.00
	3	0.056	5.6	15	1.73	1.93	2.12	2.30	2.38	2.43
	4	0.035	3.5	15	1.09	1.22	1.34	1.45	1.50	1.53
	5	0.024	2.4	15	0.76	0.85	0.93	1.01	1.04	1.06
	7	0.009	0.9	15	0.27	0.30	0.33	0.35	0.37	0.37
	8	0.718	71.8	45	13.16	15.58	17.12	18.69	19.37	19.61
	9	0.013	1.3	15	0.40	0.45	0.50	0.54	0.56	0.57
El Gato Sustitutiva 2 (VS2)	1	0.085	8.5	15	2.64	2.95	3.25	3.52	3.65	3.72
	2	0.114	11.4	15	3.52	3.94	4.33	4.69	4.86	4.96
	4	0.018	1.8	15	0.55	0.61	0.67	0.73	0.75	0.77
	6	0.039	3.9	15	1.20	1.34	1.47	1.59	1.65	1.68
	7	0.009	0.9	15	0.28	0.32	0.35	0.38	0.39	0.40
	8	1.234	123.4	63	18.18	21.89	24.05	26.32	27.28	27.55
El Gato Sustitutiva 3 (VS3)	9	0.041	4.1	15	1.28	1.43	1.57	1.70	1.76	1.80
	1	0.027	2.67	15	0.83	0.92	1.02	1.10	1.14	1.24
	2	0.067	6.74	15	2.09	2.33	2.56	2.78	2.88	3.12
	3	0.014	1.42	15	0.44	0.49	0.54	0.58	0.61	0.66
	4	0.046	4.55	15	1.41	1.57	1.73	1.87	1.94	2.10
	5	0.007	0.65	15	0.20	0.23	0.25	0.27	0.28	0.30
	6	0.054	5.37	15	1.66	1.86	2.04	2.21	2.29	2.48
	7	0.050	4.96	15	1.53	1.71	1.88	2.04	2.11	2.29
	8	0.410	41.05	27	9.98	11.49	12.62	13.73	14.23	15.18
	9	0.022	2.20	15	0.68	0.76	0.84	0.91	0.94	1.02
	10	0.007	0.68	15	0.21	0.24	0.26	0.28	0.29	0.31
	11	0.002	0.18	15	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08
	12	0.010	0.99	15	0.31	0.34	0.38	0.41	0.42	0.46
	13	0.022	2.20	15	0.68	0.76	0.84	0.91	0.94	1.02
	14	0.003	0.30	15	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
	15	0.010	0.97	15	0.30	0.34	0.37	0.40	0.41	0.45
	16	0.051	5.05	15	1.56	1.75	1.92	2.08	2.16	2.33
	17	0.035	3.47	15	1.07	1.20	1.32	1.43	1.48	1.60
	18	0.007	0.67	15	0.21	0.23	0.25	0.27	0.28	0.31
	19	0.111	11.08	15	3.43	3.83	4.21	4.56	4.73	5.12
	20	0.011	1.09	15	0.34	0.38	0.41	0.45	0.46	0.50
	21	0.029	2.91	15	0.90	1.00	1.10	1.20	1.24	1.34
22	1.287	128.74	59	19.92	23.89	26.25	28.71	29.76	31.05	

	23	0.015	1.49	15	0.46	0.52	0.57	0.61	0.64	0.69
	24	0.929	92.94	33	20.41	23.75	26.09	28.43	29.46	31.25
	25	0.009	0.85	15	0.26	0.29	0.32	0.35	0.36	0.39
	26	0.017	1.69	15	0.52	0.58	0.64	0.70	0.72	0.78
	27	0.024	2.39	15	0.74	0.83	0.91	0.98	1.02	1.10
El Gato Sustitutiva 4 (VS4)	1	0.051	5.1	15	1.59	1.77	1.95	2.11	2.19	2.23
	2	0.065	6.5	15	2.03	2.26	2.49	2.70	2.79	2.85
	3	0.065	6.5	15	2.02	2.26	2.48	2.69	2.78	2.84
El Gato Ataguía (ATA)	1	0.058	5.82	15	1.80	2.01	2.21	2.40	2.48	2.69
	2	0.037	3.72	15	1.15	1.29	1.41	1.53	1.59	1.72
	3	0.021	2.11	15	0.65	0.73	0.80	0.87	0.90	0.97
	4	0.002	0.24	15	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11
	5	0.013	1.27	15	0.39	0.44	0.48	0.52	0.54	0.59
	6	0.015	1.54	15	0.48	0.53	0.58	0.63	0.66	0.71
El Gato Presa (PRE)	1	0.011	1.1	15	0.33	0.37	0.40	0.44	0.45	0.46
	2	0.116	11.6	18	3.35	3.78	4.15	4.51	4.67	4.76
	3	0.019	1.9	15	0.59	0.66	0.72	0.79	0.81	0.83

Fuente: Elaboración propia.

11. ANÁLISIS HIDRÁULICOS

En este capítulo se describen los análisis hidráulicos para el diseño de las obras de drenaje requeridas para manejo de la escorrentía en las vías de acceso proyectadas en la cuenca El Gato, ejecutadas de acuerdo con las recomendaciones del MOP y del Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica. En el Anexo 9 se presenta los planos con el dimensionamiento e implantación de las obras de drenaje en planta.

11.1. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS

11.1.1. Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas y Box Culvert

La localización de las obras de drenaje se realizó teniendo en cuenta la condición natural de los diferentes drenajes, quebradas y ríos al ser interceptados con la vía, buscando preferiblemente que los cruces mantengan su alineamiento, sin embargo, por motivos topográficos se presentan derivaciones menores a sus alineamientos, los cuales son corregidos con encauzamientos cortos, para que la menor longitud mantenga las condiciones naturales de los drenajes. En la Figura 13 se presentan las alternativas de localización en planta de las obras de drenaje.

La separación entre obras de drenaje obedece a las condiciones topográficas naturales del sector, la generación de puntos bajos en la geometría vial del proyecto y la capacidad del drenaje longitudinal.

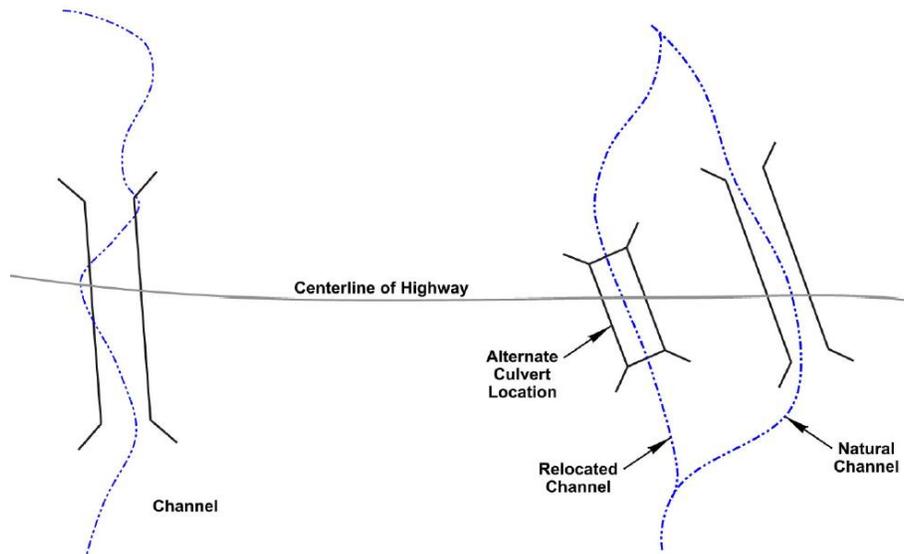


Figura 13. Alternativas para localización en planta de alcantarillas
Fuente: Hydraulic Design Serie Number 5

11.1.2. 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. De acuerdo con el punto donde se encuentre la sección de control hidráulico en la alcantarilla, control a la entrada o control a la salida, y dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto, se presentan diferentes tipos de flujo, como los mostrados en la Figura 14.

La evaluación de la capacidad hidráulica de las obras de drenaje existente toma en cuenta que la alcantarilla funcione a flujo libre, lo que quiere decir que no se ahogue la entrada ni la salida y para estos casos el control puede ser en la salida o en la entrada, siendo el primero aplicable para el tipo A (flujo subcrítico) y el segundo para el tipo B (flujo supercrítico).

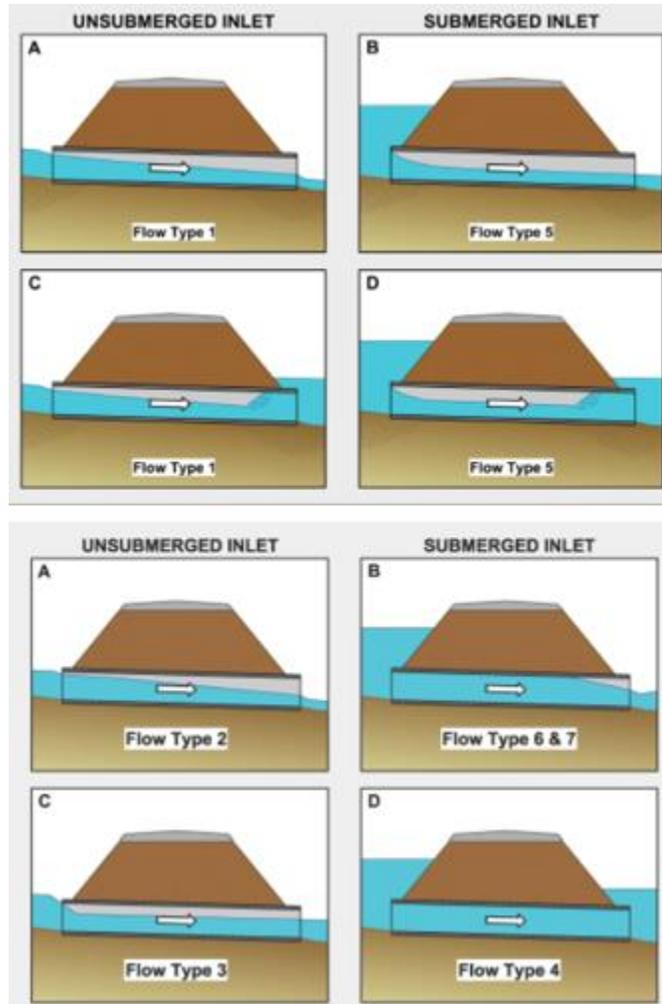


Figura 14. Condiciones de flujo en alcantarillas
 Fuente: Hydraulic Design Serie Number 5

Tomando en cuenta las condiciones planas de la topografía y morfología de la zona, se asumió una pendiente mínima del 1% para tuberías y 0.5% para Box Culvert, para así evitar que las salidas de las obras fueran de gran longitud evitando ahogamiento de las mismas.

En los conductos con control hidráulico a la entrada, el dimensionamiento de la alcantarilla proyectada se realizará mediante la expresión indicada en la Ecuación 10:

$$Hw/D = a + (bzF) + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f [(zF)]^5 - 0.50S$$

Ecuación 10.

Dónde:

a, b, c, d, e, f = Coeficientes de regresión para cada tipo de alcantarilla.
 $F = Q/D^{2.5}$ para alcantarillas circulares y $Q/(BD)^{1.5}$ para alcantarillas de cajón o arco.
b = Luz de la alcantarilla en m²
S = Pendiente del conducto de la alcantarilla en metros por metro.
Z = Factor de conversión a unidades métricas, $z = 1.81130889$.
D = Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla en m.

Si el control hidráulico se localiza a la salida, se presenta flujo subcrítico en la alcantarilla y el dimensionamiento debe considerar el remanso originado dentro de ella como resultado de la rugosidad del conducto y las pérdidas hidráulicas a la entrada y salida de la obra, por lo que se utiliza la fórmula de Manning con el fin de determinar las pérdidas en el barril o conducto. La Ecuación 11 es utilizada para determinar el diámetro o altura de la obra:

$$H_w = Y_T + Y_o + (S * L)$$

Ecuación 11.

Donde:

Y_T = Pérdidas por entrada, fricción y salida.
 Y_o = Máximo entre T_w y el valor de $(Y_c + D)/2$
 T_w = Nivel aguas abajo.
S = Pendiente de la obra
L = Longitud de la obra

La revisión hidráulica de las obras de drenaje se realizó con el software HY8, el cual es una colección de programas de libre utilización desarrollada por la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) para ayudar en el análisis y el diseño de alcantarillas.

Entre sus varios usos, este programa permite revisar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circulares, rectangulares, elípticas, en arco o definidas por el usuario. El programa puede modelar un sistema de varios conductos paralelos, teniendo cada uno diferente número de tuberías, secciones transversales, cotas, pendientes y longitudes. El programa también modela el canal de salida, tomando una sección regular o irregular, a partir de la cual calcula el valor de T_w asumiendo flujo uniforme. Como datos de entrada, para el análisis se requiere la siguiente información:

- Caudales: caudal mínimo, de diseño y máximo, con los cuales elabora una curva de calibración de la alcantarilla (H_w vs. Q).
- Datos del descole de la obra: sección, pendiente, rugosidad, cota de salida de la alcantarilla.
- Información de la vía: perfil de la vía, longitud, ancho y cota rasante del tramo de vía susceptible de funcionar como vertedero, tipo de superficie (grava, pavimento, otra).
- Datos de la alcantarilla: sección, longitud, rugosidad, número de tubos o celdas, condiciones de entrada, cotas batea entrada y salida.

11.1.3. Análisis De Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert

La evaluación de las obras se desarrolló mediante la herramienta computacional HY8. Todos los archivos se presentan en el Anexo 7. En la Tabla 19 se presenta el resumen del dimensionamiento de las obras transversales diseñadas para los tramos de vía de la cuenca El Gato.

Tabla 19. Dimensionamiento obras proyectadas - Cuenca El Gato

Cuencas	ID Obra	Tramo	Abscisa	Obra	Caudal de diseño (m³/s)	Diámetro /Sección	Número de celdas	Longitud	Estructura entrada	Estructura salida	Escalonada entrada	Escalonada salida
VS1 - 1	VS1 - OB1	Sustitutiva 1	K0+145	Puente	436.9							
VS1 - 2	VS1 - OB2	Sustitutiva 1	K0+404	Alcantarilla	2.83	0.9	3	9.9	Caja	Aletas		
VS1 - 3	VS1 - OB3	Sustitutiva 1	K0+700	Alcantarilla	2.3	0.9	2	10.5	Caja	Aletas	Tipo 2	
VS1 - 4	VS1 - OB4	Sustitutiva 1	K0+922	Alcantarilla	1.45	1.2	1	12.1	Caja	Aletas		
VS1 - 5	VS1 - OB5	Sustitutiva 1	K1+318	Alcantarilla	1.01	0.9	1	10.7	Caja	Aletas		
VS1 - 6	VS1 - OB6	Sustitutiva 1	K1+500	Box Culvert	64.0	4.50 x 2.50	2	9	Aletas	Aletas		
VS1 - 7	VS1 - OB7	Sustitutiva 1	K1+630	Alcantarilla	0.35	0.9	1	10.4	Caja	Aletas		
VS1 - 8	VS1 - OB8	Sustitutiva 1	K1+750	Box Culvert	19.6	2.50 X 1.50	3	10.7	Aletas	Aletas		
VS1 - 9	VS1 - OB9	Sustitutiva 1	K1+950	Alcantarilla	0.54	0.9	1	10.6	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS2 - 1	VS2 - OB1	Sustitutiva 2	K0+326	Alcantarilla	3.52	0.9	3	10.2	Caja	Aletas		
VS2 - 2	VS2 - OB2	Sustitutiva 2	K0+567	Box Culvert	4.96	2.00 X 1.50	1	12.2	Caja	Aletas		
VS2 - 3	VS2 - OB3	Sustitutiva 2	K0+927	Puente	160.5							
VS2 - 4	VS2 - OB4	Sustitutiva 2	K1+025	Alcantarilla	0.73	0.9	1	10.4	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS2 - 5	VS2 - OB5	Sustitutiva 2	K1+600	Puente	81.9							
VS2 - 6	VS2 - OB6	Sustitutiva 2	K1+863	Alcantarilla	1.59	0.9	2	10.4	Caja	Aletas	Tipo 2	
VS2 - 7	VS2 - OB7	Sustitutiva 2	K2+041	Alcantarilla	0.38	0.9	1	10,7	Caja	Aletas		
VS2 - 8	VS2 - OB8	Sustitutiva 2	K2+604	Box Culvert	27.6	2.50 X 2.00	3	11.1	Aletas	Aletas		
VS2 - 9	VS2 - OB9	Sustitutiva 2	K3+018	Alcantarilla	1.7	0.9	2	12.9	Caja	Aletas		
VS3 - 1	VS3 - OB1	Sustitutiva 3	K0+058	Alcantarilla	1.1	0.9	1	11.1	Aletas	Aletas		

VS3 - 2	VS3 - OB2	Sustitutiva 3	K0+228	Box Culvert	3.12	1.50 X 1.00	1	12.9	Aletas	Aletas		
VS3 - 3	VS3 - OB3	Sustitutiva 3	K0+505	Alcantarilla	0.58	0.9	1	11.1	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 4	VS3 - OB4	Sustitutiva 3	K0+610	Alcantarilla	1.87	0.9	2	11.8	Caja	Aletas	Tipo 2	
VS3 - 5	VS3 - OB5	Sustitutiva 3	K0+721	Alcantarilla	0.27	0.9	1	10.7	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 6	VS3 - OB6	Sustitutiva 3	K0+760	Alcantarilla	2.21	0.9	2	15.1	Caja	Aletas	Tipo 2	
VS3 - 7	VS3 - OB7	Sustitutiva 3	K0+848	Alcantarilla	2.04	0.9	2	10.8	Caja	Aletas	Tipo 2	
VS3 - 8	VS3 - OB8	Sustitutiva 3	K0+960	Box Culvert	15.2	2.00 X 2.00	2	11	Aletas	Aletas		
VS3 - 9	VS3 - OB9	Sustitutiva 3	K1+240	Alcantarilla	0.91	0.9	1	12	Aletas	Aletas		
VS3 - 10	VS3 - OB10	Sustitutiva 3	K1+358	Alcantarilla	0.28	0.9	1	13.3	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 11	VS3 - OB11	Sustitutiva 3	K1+569	Alcantarilla	0.07	0.9	1	11	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 12	VS3 - OB12	Sustitutiva 3	K1+857	Alcantarilla	0.41	0.9	1	14.3	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 13	VS3 - OB13	Sustitutiva 3	K1+913	Alcantarilla	0.91	0.9	1	10.1	Caja	Aletas		
VS3 - 14	VS3 - OB14	Sustitutiva 3	K2+131	Alcantarilla	0.12	0.9	1	11.9	Caja	Aletas		
VS3 - 15	VS3 - OB15	Sustitutiva 3	K2+272	Alcantarilla	0.4	0.9	1	13.8	Aletas	Aletas		
VS3 - 16	VS3 - OB16	Sustitutiva 3	K2+537	Alcantarilla	2.08	0.9	2	12.2	Aletas	Aletas		
VS3 - 17	VS3 - OB17	Sustitutiva 3	K2+714	Alcantarilla	1.43	1.2	1	12.9	Caja	Aletas		
VS3 - 18	VS3 - OB18	Sustitutiva 3	K2+788	Alcantarilla	0.27	0.9	1	10.8	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 19	VS3 - OB19	Sustitutiva 3	K2+958	Box Culvert	5.12	1.50 X 1.50	1	12.1	Aletas	Aletas		
VS3 - 20	VS3 - OB20	Sustitutiva 3	K3+260	Alcantarilla	0.45	0.9	1	11	Caja	Aletas	Tipo 1	

VS3 - 21	VS3 - OB21	Sustitutiva 3	K3+428	Alcantarilla	1.2	0.9	1	13	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 22	VS3 - OB22	Sustitutiva 3	K3+700	Box Culvert	31.1	3.00 X 2.00	2	13.9	Aletas	Aletas		
VS3 - 23	VS3 - OB23	Sustitutiva 3	K4+004	Alcantarilla	0.61	0.9	1	11.1	Caja	Aletas		
VS3 - 24	VS3 - OB24	Sustitutiva 3	K4+143	Box Culvert	31.3	3.00 X 2.00	2	17.9	Aletas	Aletas		
VS3 - 25	VS3 - OB25	Sustitutiva 3	K4+245	Alcantarilla	0.35	0.9	1	12.2	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 26	VS3 - OB26	Sustitutiva 3	K4+310	Alcantarilla	0.7	0.9	1	13.3	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS3 - 27	VS3 - OB27	Sustitutiva 3	K4+450	Alcantarilla	0.98	0.9	1	12	Caja	Aletas	Tipo 1	
VS4 - 1	VS4 - OB1	Sustitutiva 4	K0+020	Alcantarilla	2.11	0.9	2	10.7	Caja	Aletas		
VS4 - 2	VS4 - OB2	Sustitutiva 4	K0+400	Alcantarilla	2.7	1.2	2	11.1	Caja	Aletas		
VS4 - 3	VS4 - OB3	Sustitutiva 4	K0+900	Alcantarilla	2.69	1.2	2	13.5	Caja	Aletas		
PRE - 1	PRE - OB1	Acceso Presa	K0+040	Alcantarilla	0.44	0.9	1	10.8	Caja	Aletas	Tipo 1	
PRE - 2	PRE - OB2	Acceso Presa	K0+190	Box Culvert	4.76	1.50 x 1.50	2	12.9	Aletas	Aletas		
PRE - 3	PRE - OB3	Acceso Presa	K0+380	Alcantarilla	0.79	0.9	1	12.6	Caja	Aletas		
ATA- 1	ATA - OB1	Acceso Ataguía	K0+450	Box Culvert	2.69	1.50 x 1.50	1	11.3	Aletas	Aletas		
ATA- 2	ATA - OB2	Acceso Ataguía	K0+550	Alcantarilla	1.53	0.9	2	12.8	Caja	Aletas	Tipo 2	
ATA- 3	ATA - OB3	Acceso Ataguía	K0+660	Alcantarilla	0.87	0.9	1	12.7	Aletas	Aletas		
ATA- 4	ATA - OB4	Acceso Ataguía	K0+750	Alcantarilla	0.1	0.9	1	10.5	Caja	Aletas	Tipo 1	
ATA- 5	ATA - OB5	Acceso Ataguía	K0+950	Alcantarilla	0.52	0.9	1	10.6	Caja	Aletas	Tipo 1	
ATA- 6	ATA - OB6	Acceso Ataguía	K1+050	Alcantarilla	0.63	0.9	1	10.4	Caja	Aletas		

Fuente: Elaboración propia

11.2. DRENAJE LONGITUDINAL

Para el manejo del drenaje longitudinal de la vía se proyectaron cunetas laterales en la calzada de la vía, en los cortes zanjas de coronación y cunetas en las bermas, en la Figura 15 se presenta la tipología de las obras longitudinales.

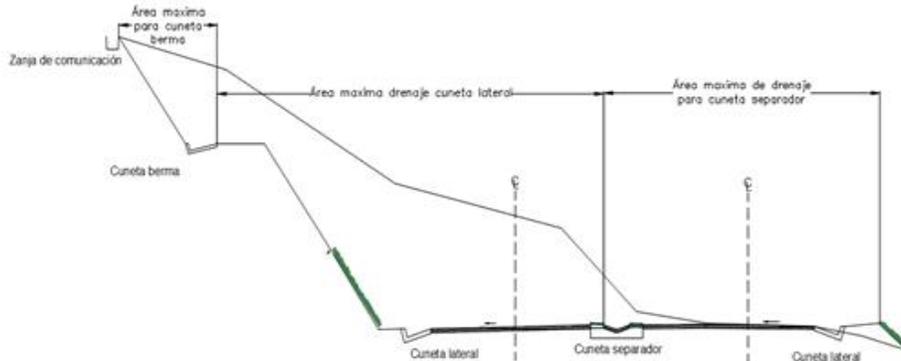


Figura 15. Elementos de drenaje longitudinal
Fuente: Elaboración propia

11.2.1. 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.

Para las cunetas en zonas de corte, los puntos de disposición son cajas colectoras de alcantarillas y salidas laterales al terreno natural en un cambio de corte a terraplén. En las cunetas en terraplén, las aguas se disponen al terreno natural mediante bajantes o alivios.

Las cunetas se deben localizar esencialmente en todos los cortes, en aquellos terraplenes susceptibles a la erosión.

Los análisis hidráulicos de las obras de drenaje longitudinal se realizaron mediante la ecuación de Manning, que se expresa de acuerdo con la Ecuación 12:

$$Q=1/n(AR^{2/3} S^{1/2})$$

Ecuación 12.

Dónde:

Q = Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m^3/s), el caudal de diseño se calcula mediante el método racional.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

A = Área mojada, en metros cuadrados (m^2).

R = Radio hidráulico, en metros (m).

S = Pendiente, en metros por metro (m/m).

De la ecuación de Manning es posible obtener la lámina de agua y la velocidad en la sección para el caudal de diseño. La lámina de agua debe ser inferior o igual a la profundidad de la cuneta y la velocidad debe ser, a su vez, menor que la máxima admisible para el material de la cuneta, pero mayor que la velocidad que favorezca la sedimentación y el crecimiento vegetal.

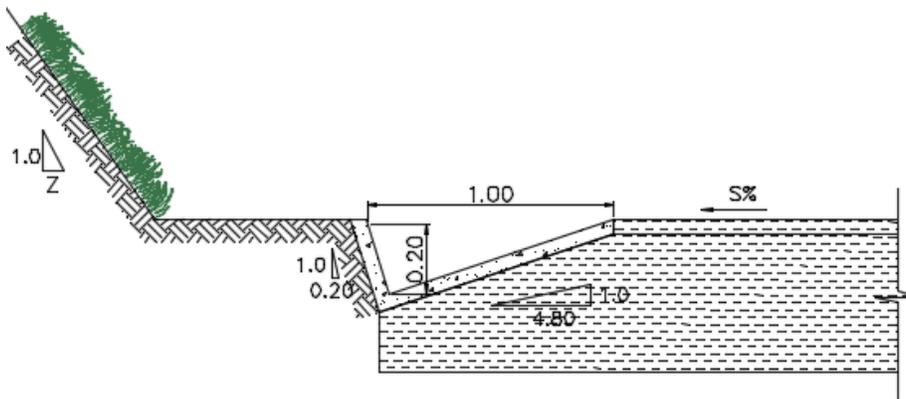
Para el diseño de las cunetas de la vía se consideraron áreas aferentes a la misma tomando en cuenta los criterios de diseño; como el proyecto contempla zanjas de coronación en los cortes, estructuras que captan la mayor cantidad de caudal que podría llegar a la cuneta de la calzada, se adoptó como criterio de diseño para la cuneta el área aferente de corte o del terreno natural y el ancho aferente de calzada de acuerdo al trazado del diseño geométrico.

Acorde con el diseño geométrico se proyectó un solo tipo de cuneta adyacente a la calzada de la vía en sección triangular y en concreto en todo los tramos del proyecto, en la Figura 16 se presenta la configuración de la cuneta proyectada y en la Tabla 20 se presenta el análisis y revisión hidráulica de la sección proyectada para la cuneta. Para el análisis se seleccionó el tramo de cuneta más crítico para cada tramo de vía de la cuenca El Gato y a partir de este se revisó que la sección proyectada cumpliera hidráulicamente para cada caso.

Tabla 20. Análisis y revisión hidráulica cunetas cuenca El Gato

CUNETAS	Caudal	Pendiente	Z1	Z2	n	Yn	Yc	Área	Perím.	Veloc	H adoptado
	(m³/s)	(m/m)	1V : Z1H	1V : Z2H	-	(m)	(m)	(m²)	(m)	(m/s)	(m)
Sustitutiva 1	0.150	0.030	0.20	4.80	0.014	0.168	0.236	0.071	0.996	2.121	0.20
Sustitutiva 2	0.214	0.041	0.20	4.80	0.014	0.181	0.272	0.082	1.073	2.606	0.20
Sustitutiva 3	0.115	0.030	0.20	4.80	0.014	0.152	0.212	0.058	0.902	1.985	0.20
Sustitutiva 4	0.190	0.032	0.20	4.80	0.014	0.182	0.260	0.082	1.075	2.305	0.20
Acceso Presa	0.076	0.023	0.20	4.80	0.014	0.137	0.180	0.047	0.811	1.620	0.20
Acceso Ataguía	0.072	0.023	0.20	4.80	0.014	0.134	0.176	0.045	0.795	1.598	0.20

Fuente: Elaboración propia

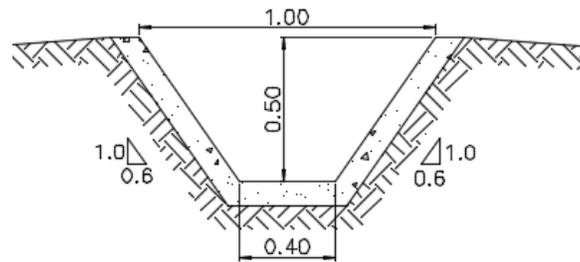


*Las dimensiones están dadas en metros
 Figura 16. Sección cuneta lateral en calzada
 Fuente: Elaboración propia

11.2.2. Zanjas De Coronación

Las zanjas de coronación son interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud de corte y se utilizan para interceptar las aguas lluvias, evitando su paso por el talud, se deben ubicar como mínimo a una distancia de 3.0 m del borde del talud de corte.

Por lo general se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas para evitar infiltraciones que puedan afectar el talud de la vía, para el caso particular se proyectaron en concreto y en sección trapezoidal. En la Figura 17 se presenta la sección de zanja de coronación proyectada y en la Tabla 21 se presenta el análisis y revisión hidráulica de la sección proyectada para la zanja de coronación. Para el análisis se seleccionó el tramo de zanja de coronación más crítico para cada tramo de vía de la cuenca El Gato y a partir de este se revisó que la sección proyectada cumpliera hidráulicamente para cada caso.



*Las dimensiones están dadas en metros
Figura 17. Sección de zanja de coronación
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Análisis y revisión hidráulica Zanjas cuenca El Gato

ZANJA	Caudal	Pendiente	Base	Z1	Z2	n	Yn	Yc	Área	Perim.	Veloc.	H adoptado
	(m³/s)	(m/m)	(m)	1V : Z1H	1V : Z2H	-	(m)	(m)	(m²)	(m)	(m/s)	(m)
Sustitutiva 1	0.750	0.010	0.40	0.60	0.60	0.014	0.448	0.541	0.300	1.445	2.503	0.50
Sustitutiva 2	0.765	0.010	0.40	0.60	0.60	0.014	0.453	0.547	0.304	1.456	2.515	0.50
Sustitutiva 3	0.575	0.010	0.40	0.60	0.60	0.014	0.388	0.468	0.245	1.304	2.344	0.50
Acceso Presa	0.760	0.010	0.40	0.60	0.60	0.014	0.451	0.545	0.303	1.453	2.511	0.50
Acceso Ataquía	0.720	0.010	0.40	0.60	0.60	0.014	0.438	0.529	0.291	1.422	2.478	0.50

Fuente: Elaboración propia

11.2.3. Estructuras Escalonadas

Este tipo de estructuras se plantearon en varias zonas del proyecto; como bajantes en los cortes para conducir el agua a la entrada de las obras o a las cunetas, a las salidas de las obras para disipar la energía; y como continuidad de las zanjas de coronación. El flujo en este tipo de estructuras se puede dar en tres tipos de condiciones:

- Flujo rasante (skimming flow): en esta condición el flujo escurre sobre las esquinas externas de las escaleras como una nata sobre un pseudo-fondo, produciéndose una recirculación del agua en la parte interna del escalón. Por lo que la reducción de energía se da por la recirculación del agua en el escalón y por impacto en el escalón aguas abajo.
- Flujo escalón a escalón (nappe flow): en esta condición el flujo sigue una trayectoria de chorro de escalón a escalón, con un lente de aire bajo la napa. La pérdida de energía se produce entonces por la dispersión del chorro en el aire y por la mezcla de agua al impacto y desarrollo total o parcial del resalto hidráulico.
- Flujo de transición: condición intermedia entre las dos condiciones descritas anteriormente, donde la napa sobre el lente de aire puede o no formarse y se produce una recirculación parcial del agua en cada escalón.

Se recomienda el uso de este tipo de estructuras para pendientes entre 5.7° y 55°, el diseño consiste en determinar la velocidad y la profundidad del flujo en la estructura y el incremento de la profundidad del flujo por efecto del aire para determinar altura de muro de la estructura.

La metodología de diseño de este tipo de estructura es experimental y para el presente proyecto se siguió la metodología descrita por H. Chanson, en su libro. "HYDRAULIC DESIGN OF STEPPED CASCADES, CHANNELS, WEIRS AND SPILLWAYS". De acuerdo con las condiciones de diseño geométrico de las vías y de taludes, se proyectaron tres tipos de estructuras escalonadas. En la Tabla 22 se resumen el dimensionamiento y en el Anexo 8 la memoria de diseño.

Tabla 22. Dimensiones de las estructuras escalonadas

LOCALIZACIÓN	TIPO	TALUD	L (m)	H (m)	B (m)	d (m)
ENTRADA	1	1V:0.75H	0.38	0.50	1.50	1.00
ENTRADA	2	1V:0.75H	0.38	0.50	2.00	1.00
ENTRADA	3	1V:0.75H	0.38	0.50	2.50	1.00
ENTRADA	4	1V:0.75H	0.38	0.50	4.50	1.00
ENTRADA	5	1V:0.75H	0.38	0.50	6.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

11.2.4. Obras mayores

Este tipo de estructuras se plantearon cuando se presentan dos condiciones: la primera, cuando el caudal para periodos de retorno que superan los 50 m³/s y la segunda condición, cuando la luz es muy amplia y los rellenos de la vía son de gran altura. A continuación se presentan los sitios de implantación de las estructuras tipo puente que presenta estas condiciones.

Tabla 23. Estructuras tipo Puente

VS1 - 1	VS1 - OB1	Vía Sustitutiva 1	K0+145	Puente
VS2 - 3	VS2 - OB3	Vía Sustitutiva 2	K0+927	Puente
VS2 - 5	VS2 - OB5	Vía Sustitutiva 2	K1+571	Puente

Fuente: Elaboración propia

12. ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE SEÑALIZACIÓN A PARTIR DE ÍNDICES

Con base en los criterios para estimar las cantidades, se realizó el estimativo e índices correspondientes.

En la Tabla 24 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 24. Índices de cantidades de señalización

VÍA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	RODADURA	SEN_VERT (und)	ÍNDICE SEN_VERT (und/Km)	DEFENSA (m)	ÍNDICE DEFENSA (m/Km)
1	Acceso a pie de presa, portal salida y contraatagüa	450	Subbase	32	72	258	574
2	Acceso a atagüa y portal entrada	1,110	Subbase	78	71	440	397
3	Vía sustitutiva 1	2,050	Subbase	136	67	1,355	663
4	Vía sustitutiva 2	3,200	Subbase	138	44	2,380	744
5	Vía sustitutiva 3	4,600	Subbase	391	86	1,980	432
6	Vía sustitutiva 4	920	Subbase	48	52	790	855

Fuente: Elaboración propia

13. CANTIDADES DE OBRAS HIDRÁULICAS

En la Tabla 25 se presentan las cantidades de tuberías determinadas para las obras de drenaje proyectadas para manejo de la escorrentía en las vías de acceso diseñadas para la cuenca El Gato.

Tabla 25. Cantidades de obra - Vías cuenca El Gato

CANTIDADES DE OBRA VÍAS CUENCA LA VILLA - PRESA EL GATO DISEÑO CONCEPTUAL								
Descripción	Unidad	Cantidad Total						Total general
		Acceso Ataguía	Acceso Presa	Sustitutiva 1	Sustitutiva 2	Sustitutiva 3	Sustitutiva 4	
Tubería de concreto reforzado de 0,90m de diámetro	m	69.8	23.4	82.4	98.3	302.5	21.4	597.8
Tubería de concreto reforzado de 1,20m de diámetro	m	0.0	0.0	12.1	0.0	12.9	49.2	74.2
Box Culvert 1.50 x 1.00 m	m	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	0.0	12.9
Box Culvert 1.50 x 1.50 m	m	11.3	25.8	0.0	0.0	12.1	0.0	49.2
Box Culvert 2.00 x 1.50 m	m	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	0.0	12.2
Box Culvert 2.00 x 2.00 m	m	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	22.0
Box Culvert 2.50 x 1.50 m	m	0.0	0.0	32.1	0.0	0.0	0.0	32.1
Box Culvert 2.50 x 2.00 m	m	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	33.3
Box Culvert 3.00 x 2.00 m	m	0.0	0.0	0.0	0.0	63.6	0.0	63.6
Box Culvert 4.50 x 2.00 m	m	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	18.0

Fuente: Elaboración propia

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. DISEÑO VIAL

Se realizó un diseño funcional que satisface los requerimientos de acceso a cada uno de los componentes del proyecto y se presenta como resultado, las cantidades de obra necesarias para evaluar la etapa de diseño conceptual.

Los diseños viales presentados, cumplen en su totalidad con los criterios de diseño establecidos en el capítulo 5 del presente documento.

En la etapa posterior se debe tener en cuenta que para los diseños viales en los cuales se usó topografía tomada del modelo Jaxa, los trazados y cantidades deben ser verificados ya que esta topografía presenta menor nivel de precisión respecto a una topografía detallada.

Se diseñaron vías sustitutivas con especificaciones similares a las de las vías que se afectan por el embalse. Con estas vías se garantiza la conectividad vial que existía antes de la ejecución del proyecto. Se recomienda en el diseño detallado garantizar el empalme con las vías existentes.



En la etapa posterior de diseño se recomienda hacer un inventario y cuantificación de las vías existentes que serán utilizadas en el proyecto, con el fin de estimar los costos de su mejoramiento.

14.2. DRENAJES

El análisis hidrológico de las cuencas analizadas se realizó a partir de los lineamientos establecidos en el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos de Panamá.

La delimitación de las cuencas interceptadas por los trazados viales propuestos y la caracterización morfométrica de las mismas se realizó a partir del Modelo Digital de Terreno (DTM) Jaxa.

Los caudales máximos para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se estimaron a partir del Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² se calcularon a partir del método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service.

Las coberturas de las cuencas analizadas se obtuvieron del "Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012 realizado por el Ministerio de Ambiente de Panamá, con apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO". (MINAMBIENTE, 2019).

Los caudales máximos obtenidos para las cuencas con áreas mayores a 2.5 km² se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.

Sitios El Gato	Área (km)	Periodo de retorno (Años)					
		2	5	10	20	25	50
Estación Atalayita	1000	681.7	1142.8	1448.2	1741	1833.9	2120.1
VS1-1	71.901	140.5	235.5	298.4	358.8	377.9	436.9
VS1-6	2.924	20.6	34.5	43.7	52.5	55.3	64.0
VS2-3	13.544	51.6	86.5	109.6	131.8	138.8	160.5
VS2-5	4.414	26.3	44.1	55.9	67.3	70.8	81.9

Fuente: Elaboración propia.

Se proyecta una cuneta de sección triangular revestida en concreto de 1.0 m de ancho superficial, 0.20 m de profundidad y taludes 1V:0.2H y 1V:4.8H.

Se proyecta una zanja de coronación de sección trapezoidal revestida en concreto de 1.0 m de ancho superficial, 0.4 m de base y 0.50 m de profundidad y taludes 1V:0.6H.

Las zanjas de coronación se deben ubicar como mínimo a una distancia de 3.0 m del borde del talud de corte.

15. REFERENCIAS

AASHTO. (2011). *Geometric design of highways and streets*.

MOP. *Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo con lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas*.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012). *Hydraulic design of highway culverts*. Third edition.

SIECA. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*.

16. ANEXOS

Anexo 1. Planos de diseño geométrico

Anexo 2. Cantidades de obra

Anexo 3. Reportes de alineamientos

Anexo 4. Pendiente del cauce principal

Anexo 5. Tiempo de concentración

Anexo 6. Resumen de caudales

Anexo 7. Dimensionamiento de obras transversales

Anexo 8. Dimensionamiento de escalonadas

Anexo 9. Planos hidráulicos