Cliente:

PRONOBIS

CONSULTING GROUP
CONSULTORA VERA & ASOCIADOS
SERVICIOS DE INGENIERÍA

Proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL: AMPLIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA PLAYAS – ENGABAO FASE 1 TRAMO 1, CANTÓN PLAYAS DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS".

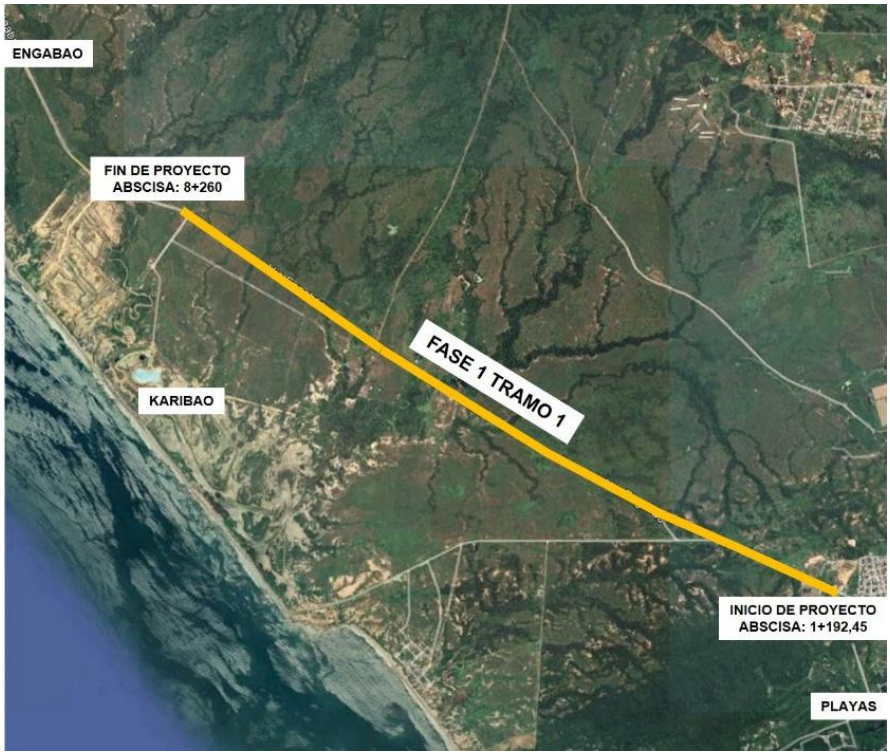
Documento:

INFORME HIDROLOGICO HIDRÁULICO DEL DRENAJE VIAL DISEÑOS DEFINITIVOS FASE 1 TRAMO 1 (1+192.45 a 8+260)

Tipo de Documento: *Memoria Técnica Descriptiva*

CVA SE RESERVA LA PROPIEDAD DE ESTE DOCUMENTO, LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN O TRANSFERENCIA A OTRA COMPAÑÍA O INDIVIDUOS ESTÁ PROHIBIDA, YA SEA ENTERO O PARCIALMENTE, A MENOS DE TENER PREVIO CONSENTIMIENTO ESCRITO DE CVA. -

REVISIÓN *5*



NÚMERO DE REVISIÓN	*5*	*FECHA:*	*SEPTIEMBRE 2025*

ÍNDICE

Página

1 **GENERALIDADES 5**
1.1 ANTECEDENTES 5
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
2 **INFORMACIÓN RECOPILADA 6**
2.1 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA 6
2.2 INFORMACIÓN HIDROMETEREÓLOGICA 6
3 **METODOLOGÍA 6**
4 **CRITERIOS DE DISEÑO 7**
5 **REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE LA ZONA 8**
5.1 INVENTARIO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 8
5.2 MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 9
5.3 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL PROMEDIO 10
5.4 CURVAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN 12
6 **PARÁMETROS DE VALORACIÓN Y DISEÑO 14**
6.1 SELECCIÓN DE LA RECURRENCIA DE DISEÑO 16
6.2 DELIMITACION DE LAS ÁREAS DE APORTACIÓN HÍDRICA 16
6.3 TIEMPO DE CONCENTRACION 18
6.4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES 19
6.5 CAPACIDAD Y NIVELES PARA LOS CAUDALES DE CRECIDA 22
6.5.1 ALCANTARILLAS 22
6.5.2 PUENTES 23
6.6 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE SOCAVACIÓN 24
6.6.1 SOCAVACIÓN GENERAL 24
6.6.2 SOCAVACIÓN POR CURVATURA 25
6.7 PROTECCIÓN DEL LECHO DEL CAUCE 25
7 **EVALUACIÓN DE LAS OBRAS EXISTENTES 26**
7.1 VALORACIÓN CUALITATIVA DE LAS ALCANTARILLAS 27
7.2 VALORACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS 29
7.3 RECOMENDACIONES PROPUESTAS 30
8 **DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE 32**
8.1 OBRAS DE ARTE MENOR 33

8.1.1 ALCANTARILLAS 33
8.1.2 ZANJAS DE ENCAUZAMIENTO 35
8.1.3 ENROCADO DE PROTECCIÓN 35
8.2 OBRAS DE ARTE MAYOR 35
8.2.1 SITIO ABSCISA 5+415.84 35
9 VOLÚMENES DE OBRA **42**
10 **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** **42**
11 **REFERENCIAS** **44**

TABLA DE CUADROS

Página

Cuadro No. 1 UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS 9
Cuadro No. 2 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA ANUAL 10
Cuadro No. 3 VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm) 11
Cuadro No. 4 INTENSIDADES DIARIAS DIFERENTES PERÍODOS RETORNO 13
Cuadro No. 5 INTENSIDADES MÁXIMAS 13
Cuadro No. 6 CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN 17
Cuadro No. 7 CAUDALES MÁXIMOS EN LOS SITIOS DE INTERÉS 21
Cuadro No. 8 AJUSTES COEFCIENTE DE MANNING EN SITIO DEL PUENTE 23
Cuadro No. 9 VALORACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS 30
Cuadro No. 10 RECOMENDACIONES PROPUESTAS 32
Cuadro No. 11 DISEÑO DE LA SECCION HIDRÁULICA 34
Cuadro No. 12 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS ALCANTARILLAS 34
Cuadro No. 13 ALTERANTIVAS ANALIZADAS 38
Cuadro No. 14 NIVELES POTENCIALES DE SOCAVACIÓN 41

TABLA DE GRÁFICOS

Página

Gráfico No. 1 MAPA DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN 9
Gráfico No. 2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL 1990-2012 11
Gráfico No. 3 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL 12
Gráfico No. 4 INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS 14
Gráfico No. 5 FRECUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE VALORACIÓN 29
Gráfico No. 6 PERFIL SOCAVACIÓN SECCIÓN BAJO EL PUENTE 40

TABLA DE FIGURAS

Página

Figura No. 1 ÁREAS DE APORTACIÓN HÍDRICA..... 17
Figura No. 2 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE MÁRGENES DEL RÍO 26
Figura No. 3 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. ALCANTARILLA EXISTENTE..... 37
Figura No. 4 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. PUENTE L=20m 37
Figura No. 5 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. DUCTO CAJÓN 37

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El proyecto vial se ejecuta en dos segmentos principales identificados como FASE 1 y FASE 1I, cada uno con su respectiva delimitación por abscisados. En particular, el tramo correspondiente a la **FASE 1 TRAMO 1 se extiende desde la abscisa 1+192.45 hasta la 8+260**, comprendiendo una longitud aproximada de **7,06 km**. Esta sección presenta características de trazado nuevo, lo cual implica que no se cuenta con infraestructura de drenaje preexistente.

A lo largo del trazado correspondiente a la FASE 1 Tramo 1 del proyecto vial, es indispensable implementar intervenciones que permitan restablecer y preservar el régimen natural de escorrentía, el cual se ve alterado por la presencia de la plataforma vial. Esta alteración genera puntos de concentración de aguas pluviales que requieren soluciones técnicas específicas para asegurar la funcionalidad hidráulica y la seguridad estructural de la vía.

En el presente estudio se detallan los resultados obtenidos a partir de los análisis hidrológicos e hidráulicos realizados para la formulación técnica del sistema de drenaje propuesto.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar los estudios hidrológico-hidráulicos del sistema de drenaje vial, que permitan obtener los diseños de las obras para la rehabilitación del sistema de drenaje existente de manera de acondicionarlo al trazado vertical propuesto para la vía y las nuevas condiciones hidrológicas.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los principales parámetros físicos de las áreas de aportación, los patrones de precipitación y escorrentía superficial a las diferentes obras de arte.

- Definir los caudales de crecidas correspondientes en cada uno de los sitios de cruce de la vía y establecer los requerimientos de desfogue de las aguas en sitios de concentración del drenaje.

- Diseño de las obras de arte considerando el efecto sobre el escurrimiento natural de los caudales de crecida en los sitios contiguos de influencia de las obras de drenaje definidas.

2 INFORMACIÓN RECOPILADA

La información analizada para la elaboración del presente informe es la siguiente:

2.1 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

- Planos del levantamiento topográfico de la vía.
- Levantamientos de comprobación de sitios de interés mediante GPS realizados en el recorrido de la zona de estudio.
- Cartografía IGM 1:50.000 MV-D3 General Villamil

2.2 INFORMACIÓN HIDROMETEREÓLOGICA

- Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Actualización del estudio de lluvias intensas. INAMHI. 2019.
- Base de datos del sistema de información de INFOPLAN. 2012.
- Registros de estaciones de la Red Meteorológica: Anuarios meteorológicos. INAMHI.
- Información de precipitaciones y temperaturas raster de SENPLADES. 2013.

3 METODOLOGÍA

Los estudios y diseños del sistema de drenaje de la vía se desarrollaron con base de la siguiente secuencia metodológica.

PARA OBRAS DE ARTE MENOR

- Visita de campo a cada uno de los sitios de ubicación de las obras de arte menor con el fin de reconocer la problemática y para la elaboración de un registro de evaluación de la situación existente.
- Determinación de las principales características geomorfológicas de las cuencas hidrográficas de manera que permitan el empleo de fórmulas y métodos de la hidráulica de ríos.
- Caracterización climatológica del régimen de los diferentes cauces, a través del estudio pluviométrico y la variabilidad de los caudales. La hidrología de la cuenca permite conocer los caudales y las características de las crecidas.
- Caracterización específica de cada cuenca de aportación para las obras arte menor (alcantarillas). Definición de los principales parámetros de diseño y establecimiento de áreas mínimas de aportación y secciones típicas de los ductos.

Definición hidráulica de la capacidad de cada obra.

- Se definen las secciones transversales de la vía en cada uno de los sitios de ubicación de las alcantarillas. Se ubican los ductos considerando el mejor esviajamiento del ducto de manera de garantizar la estabilidad de los flujos de entrada y salida. Se debe evitar que los ductos queden en relleno.
- Se complementan los estudios del sistema de drenaje de la vía con el diseño de las obras complementarias como: enrocados de protección de los cauces naturales y encauzamientos.

PARA OBRAS DE ARTE MAYOR

- Caracterización climatológica del régimen del cauce natural, a través del estudio pluviométrico y la información disponible de caudales. La hidrología de la cuenca permite conocer los caudales y las características de las crecidas.

- Se determinan las principales características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica de manera que permitan el empleo de fórmulas y métodos de la hidráulica de ríos.

- Caracterización del cauce. Definición de los principales parámetros de diseño y ubicación del emplazamiento de la obra.

- Se definen las secciones inmediatamente aguas arriba como aguas abajo que representen las condiciones existentes del cauce, que permitan establecer el efecto de contracción y expansión del flujo a través del puente.

- Simulación hidráulica del tramo del cauce en estudio mediante el Programa HEC-RAS, que permite efectuar análisis de la superficie hidráulica de tramos de cauces en régimen uniforme, y el efecto producido por la estrangulación del cauce por estructuras interpuestas en su trayecto.

- Análisis hidráulico del tránsito de la crecida en el tramo del río y el efecto que este produciría por la presencia del puente existente.

- Estimación de los niveles potenciales de socavación.

4 CRITERIOS DE DISEÑO

Para los estudios y diseños de las diferentes obras se han considerado los siguientes criterios básicos:

OBRAS DE ARTE MENOR

- Confirmación de uso de aquellas alcantarillas que cumplen los requisitos de capacidad hidráulica, velocidades admisibles y condiciones de operatividad.
- La pendiente de colocación del ducto se establece en función de las condiciones topográficas de los sitios entrada y salida.
- El Caudal de Diseño se obtiene utilizando la metodología de la Fórmula Racional apropiada para cauces naturales que interceptan al eje de la vía.
- Ubicación de las nuevas alcantarillas de manera preferente en los mismos sitios, previo una verificación de la ubicación y esviajamiento de las mismas respecto a los cauces de entrada y salida, y el nuevo trazado de la vía.
- Sección mínima del ducto de las alcantarillas nuevas: 1.20 m de diámetro.

PARA OBRAS DE ARTE MAYOR

- Por el tamaño de la cuenca hidrográfica se ha empleado el método del hidrograma de escorrentía superficial a través del programa HEC-HMS que permite considerar el efecto de simultaneidad de la precipitación en toda la cuenca y la laminación de la crecida en el cauce principal.
- Definición de un régimen uniforme del flujo aguas arriba y aguas abajo del tramo estudiado en función de la pendiente media del cauce tanto aguas arriba como aguas abajo y efectos potenciales de inundación.
- Consideración de un bordo libre mínimo de 2.0 m entre el nivel de crecida máximo y el borde inferior de las vigas.

5 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE LA ZONA

5.1 INVENTARIO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio climatológico son aquellas que se encuentran ubicadas en las cercanías del proyecto, de acuerdo a la zona de estudio se identificado varias estaciones, las mismas que se ha valorado desde el punto de vista de disponibilidad de información para poder caracterizar en forma pluviométrica las áreas aportantes de la vía diseñada; de las estaciones identificadas se establecen las coordenadas geográficos y altitud que se presentan en el Cuadro No. 1. *Fuente: Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.*

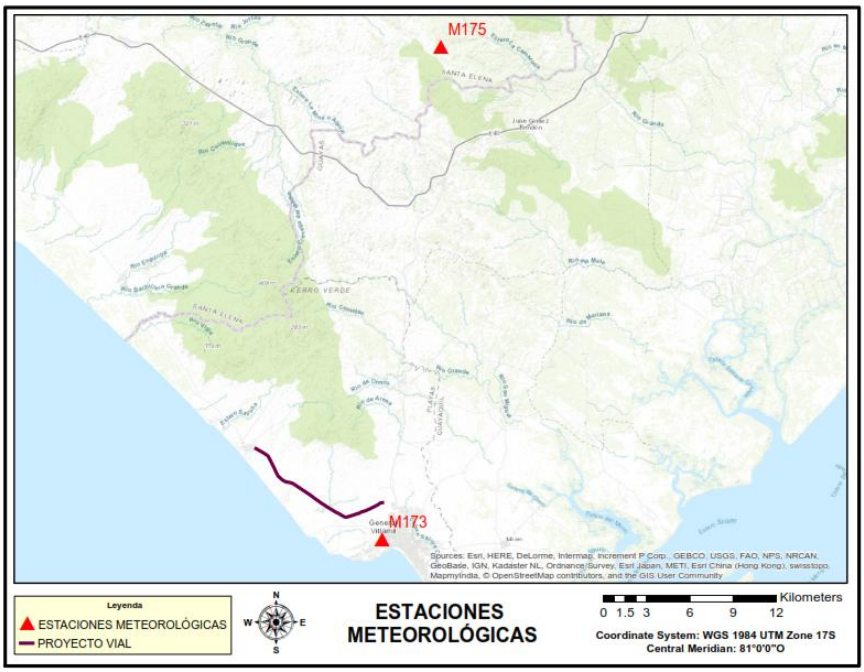
Cuadro No. 1 UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS

CODIGO	NOMBRE	TIPO	LATITUD_N	LONGITUD_E	ALTITUD	INST_PROP
MA2V	GUAYAQUIL	CO	9756784	624179	6	INAMHI
M173	PLAYAS-GRAL	CO	9709500	566576	30	INAMHI
M175	EL PROGRESO	CO	9743704	570668	6	INAMHI
M246	CHONGON	CP	9753115	600080		CEDEGE

5.2 MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

A nivel espacial se observa a la estación Playas General Villamil que se encuentra entre las más cercanas al proyecto vial, las restantes estaciones pertenecen a la misma zona meteorológica, determinándose un mismo comportamiento climatológico, las series de datos de las estaciones meteorológicas se enmarcan en el periodo comprendido entre los años 1962 a 2010, con la información disponible se tiene previsto establecer la variación anual mensual de precipitaciones.

Gráfico No. 1 MAPA DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN



5.3 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL PROMEDIO

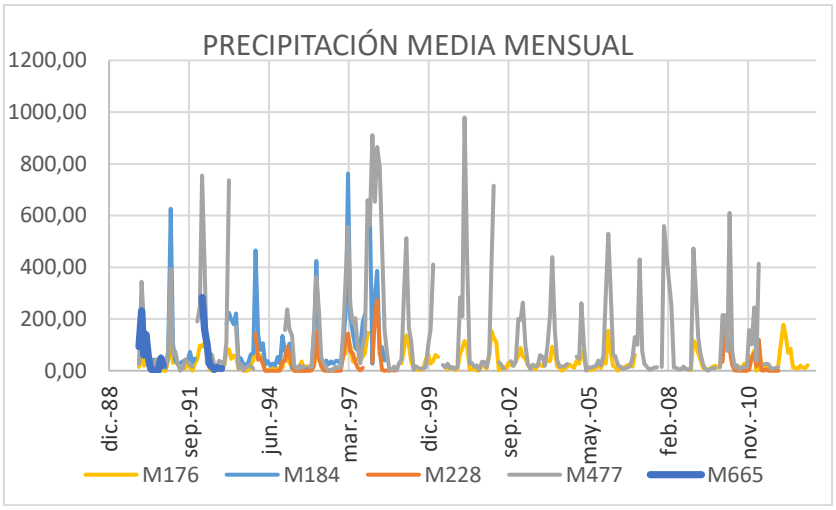
La disponibilidad de la información de precipitaciones de acuerdo con los anuarios corresponde a los años 1990 y 2012; en este periodo se muestra que la información disponible es discontinua; es decir, que en algunos meses y años no existe información registrada de la variable analizada, razón que permite validar la información y determinar las estaciones que permitan establecer el comportamiento climatológico de la zona.

Cuadro No. 2 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA ANUAL

	INFORMACIÓN DISPONIBLE – PRECIPITACIÓN MENSUAL			
AÑO	M176	M184	M477	M665
1990	X	X	X	X
1991	X	X	X	
1992	X		X	X
1993	X	X	X	
1994	X	X		
1995	X	X	X	
1996	X	X	X	
1997	X	X	X	
1998	X	X	X	
1999	X		X	
2000	X		X	
2001	X		X	
2002	X		X	
2003	X		X	
2004	X		X	
2005	X		X	
2006	X		X	
2007	X		X	
2008	X		X	
2009	X		X	
2010	X		X	
2011	X		X	
2012	X			

Con los registros históricos de precipitaciones medias mensuales se ha previsto el análisis de precipitación interanual estableciéndose la precipitación media mensual. Las estaciones meteorológicas consideradas para este análisis son la M176 y M477, cuyas series de datos permiten definir la precipitación media mensual; para el caso de la estación M184 la precipitación media mensual se determina con los datos disponibles de ocho años de la década de los noventa.

Gráfico No. 2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL 1990-2012

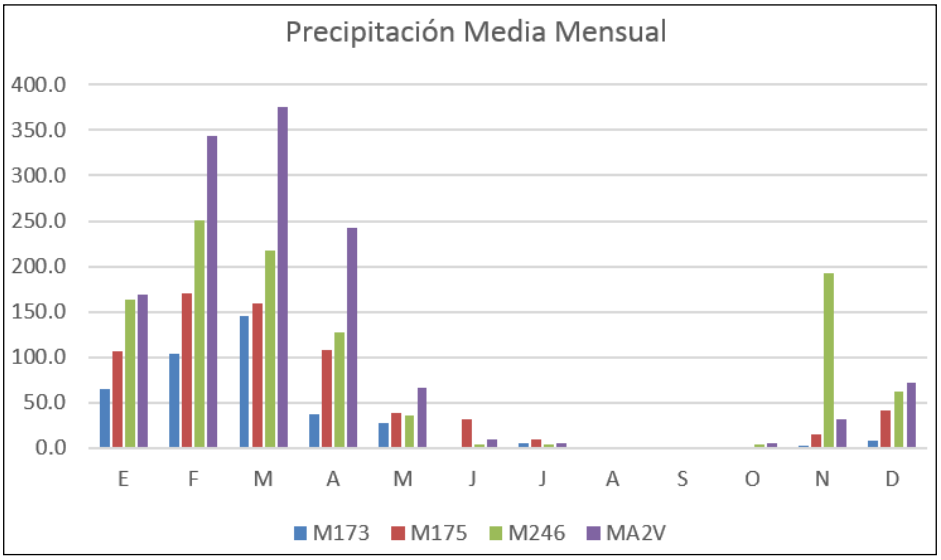


La precipitación mensual promedio se obtiene de la información disponible en los anuarios meteorológicos publicado por el INAMHI, los valores mensuales se presentan en el CUADRO Nº 3. El análisis de precipitaciones determina mayores precipitaciones entre los meses de febrero y marzo y mínimas entre julio a octubre, llegando incluso a ser nulas; en los histogramas de las cuatro estaciones se establece un comportamiento unimodal aspecto que caracteriza en toda la zona que contempla el cruce de la vía. Los datos de precipitaciones medias mensuales se describen en el Cuadro No. 3 y se observa en el Gráfico No. 3.

Cuadro No. 3 VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)

ESTACION	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
M173	65.6	104.4	145.3	37.4	28.2	1.9	6.0	0.4	0.9	1.6	2.5	8.4
M175	106.4	170.8	160.0	108.5	38.3	32.4	10.0	0.2	1.1	1.1	14.5	42.1
M246	164.0	250.9	217.5	127.5	36.0	3.8	3.8	0.6	1.9	3.7	192.9	62.2
MA2V	168.8	343.7	374.8	242.7	66.8	9.7	5.7	0.8	1.4	5.7	31.2	72.4

Gráfico No. 3 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL



5.4 CURVAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN

A partir del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) 1997-1998 el INAMHI ha venido elaborando y analizando curvas envolventes de precipitación y caudales máximos unitarios en base de la información registrada en 178 estaciones meteorológicas representativas del país y un período de registros de 35 años (1964-1998), en las que se ha determinado una correspondencia entre los valores de intensidades de lluvias extraordinarias y de las precipitaciones máximas de en 24 horas, con una confiabilidad aceptable de la metodología empleada.

Estos estudios establecen para todas las cuencas hidrográficas analizadas las Zona No.26 de la zonificación de intensidades, cuyas ecuaciones actualizadas al 2019 son las siguientes:
Fuente: Actualización del estudio de lluvias intensas Quito – Ecuador V2 - 2019

De 5 minutos a 90.22 minutos:

$$\boldsymbol{I = 34.917 t^{-0.3060} Id}$$

De 90.22 minutos a 1440 minutos:

$$\boldsymbol{I = 286.35 t^{-0.778} Id}$$

Donde:

I = Intensidad de la precipitación, en mm/h
Id = intensidad diaria para un período de retorno
t = tiempo de duración de la lluvia en minutos

Los valores de Id se estiman de los gráficos presentados por el INAMHI (1999) y se presentan en el CUADRO No. 4.

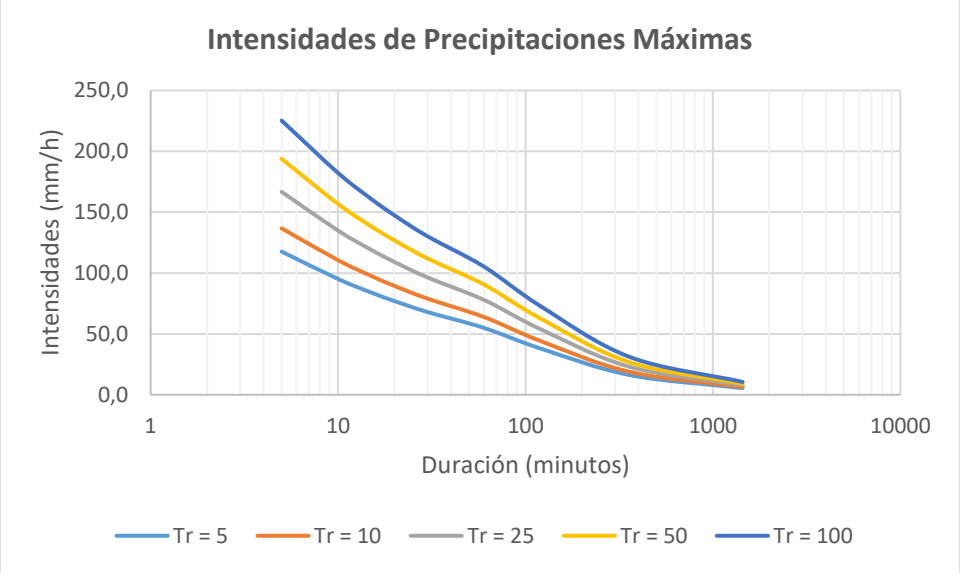
Cuadro No. 4 INTENSIDADES DIARIAS DIFERENTES PERÍODOS RETORNO

Tr	**Id**
(anos)	(mm/h)
5	5.5
10	6.4
25	7.8
50	9.1
100	10.6

Cuadro No. 5 INTENSIDADES MÁXIMAS

INTENSIDADES (mm/h)					
t	**Periodo de retorno**				
[min]	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
10	95.2	110.6	134.9	156.8	182.2
15	84.1	97.7	119.2	138.5	161.0
30	68.0	79.0	96.4	112.0	130.2
60	55.0	63.9	78.0	90.6	105.3
120	38.1	44.3	54.0	62.7	72.9
1440	5.5	6.4	7.8	9.1	10.6

Gráfico No. 4 INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS



6 PARÁMETROS DE VALORACIÓN Y DISEÑO

6.1 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA HIDROLOGÍA Y RECURSOS HÍDRICOS.

Tal como lo señala el Dr. Fernando Oñate Valdivieso en su libro **Hidrología – Aplicaciones con HydroVLab** *"en la actualidad hay pocas dudas sobre el calentamiento del sistema climático. La atmosfera y el océano se han calentado, la cantidad de nieve y hielo ha disminuido y el nivel del mar se ha elevado. Los impactos de los recientes fenómenos extremos conexos al clima, como las olas de calor, sequias, inundaciones, ciclones e incendios forestales, ponen de relieve una importante vulnerabilidad y exposición de algunos ecosistemas y de muchos sistemas humanos a la actual variabilidad climática. Las emisiones continuas de gases de efecto invernadero causarán un mayor calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, lo que hará que aumente la probabilidad de impactos severos, generalizados e irreversibles en las personas y ecosistemas.*

Según el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) 2022b, los impactos generalizados y omnipresentes sobre los ecosistemas, las personas, los asentamientos y las infraestructuras han sido el resultado de los aumentos observados en la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos, y varios impactos se acercan a la irreversibilidad como las repercusiones de los cambios hidrológicos derivados del retroceso de los glaciales y los cambios en algunos ecosistemas de montaña y árticos provocados por el deshielo del permafrost".

El cambio climático, incluido el aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos extremos, ha reducido la seguridad alimentaria e hídrica y obstaculizado los esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
Los escenarios de clima futuro definidos por IPCC prevén que en el corto plazo (periodo 2021-2040) el calentamiento y la mayor frecuencia, gravedad y duración d los fenómenos extremos harán que muchos ecosistemas terrestres, de agua dulce, costeros y marinos corran un riesgo alto o muy alto de pérdida de biodiversidad. La subida continua y acelerada del nivel del mar invadirá los asentamientos y las infraestructuras costeras y expondrá a los ecosistemas costeros bajos a la sumersión y la pérdida.

En el mediano y largo plazo (periodo 2041-2100), los riesgos los riesgos en la disponibilidad física de agua y los peligros relacionados con esta seguirán aumentando, con mayor posibilidad en los niveles más altos de calentamiento global. Con un calentamiento global de aproximadamente 2°C se prevé que la disponibilidad de agua de deshielo para el riego disminuya en algunas cuencas fluviales dependientes del deshielo hasta en un 20%; que la pérdida de masa glaciar del 18 ± 13% reduzca la disponibilidad de agua para la agricultura, la energía hidroeléctrica y los asentamientos humanos a medio y largo plazo; y que estos cambios se dupliquen con un calentamiento global de 4°C (IPCC, 2022b).

6.2 PARÁMETROS CLAVE PARA EL DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS CONSIDERANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático introduce incertidumbres en los patrones de precipitación, frecuencia de eventos extremos y comportamiento hidrológico de las cuencas. Por ello, el diseño de obras hidráulicas debe incorporar criterios más resilientes y adaptativos. A continuación, se presentan los principales parámetros a considerar:

Hidrología ajustada al cambio climático

- Considerar cambios en la distribución temporal de lluvias (lluvias más concentradas en menos días).

Capacidad hidráulica y dimensionamiento

- Incorporar márgenes de seguridad en el diámetro y capacidad de las obras.
- Evaluar riesgos de erosión y socavación por velocidades más altas.

Consideraciones ambientales y de resiliencia

- Usar materiales resistentes a ciclos de humedad extrema y temperaturas variables.
- Permitir futuras adaptaciones sin reconstrucción total.

Evaluación de riesgo y vulnerabilidad

- Identificar zonas críticas susceptibles a inundaciones o colapsos.
- Usar datos de proyecciones locales para mayor precisión.

El diseño hidráulico de las obras de arte mayor y menor, correspondientes a la FASE 1 del proyecto en mención, ha sido desarrollado con plena consideración de todas las variables meteorológicas e hidráulicas relevantes, incluyendo parámetros de precipitación, escorrentía, niveles de caudal pico y comportamiento histórico de eventos extremos. Para ello, se han empleado criterios técnicos de modelación hidrológica e hidráulica que garantizan la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad de las estructuras propuestas.

Asimismo, se ha tomado en cuenta las recomendaciones técnicas emitidas por organismos nacionales e internacionales de control y referencia, tales como el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP), bajo la Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 – Volumen 2, Libro B; el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); y el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). Complementariamente, se han integrado buenas prácticas reconocidas a nivel internacional en el diseño hidráulico de alcantarillas y puentes, asegurando su comportamiento estructural e hidráulico ante posibles escenarios de riesgo.

6.3 SELECCIÓN DE LA RECURRENCIA DE DISEÑO

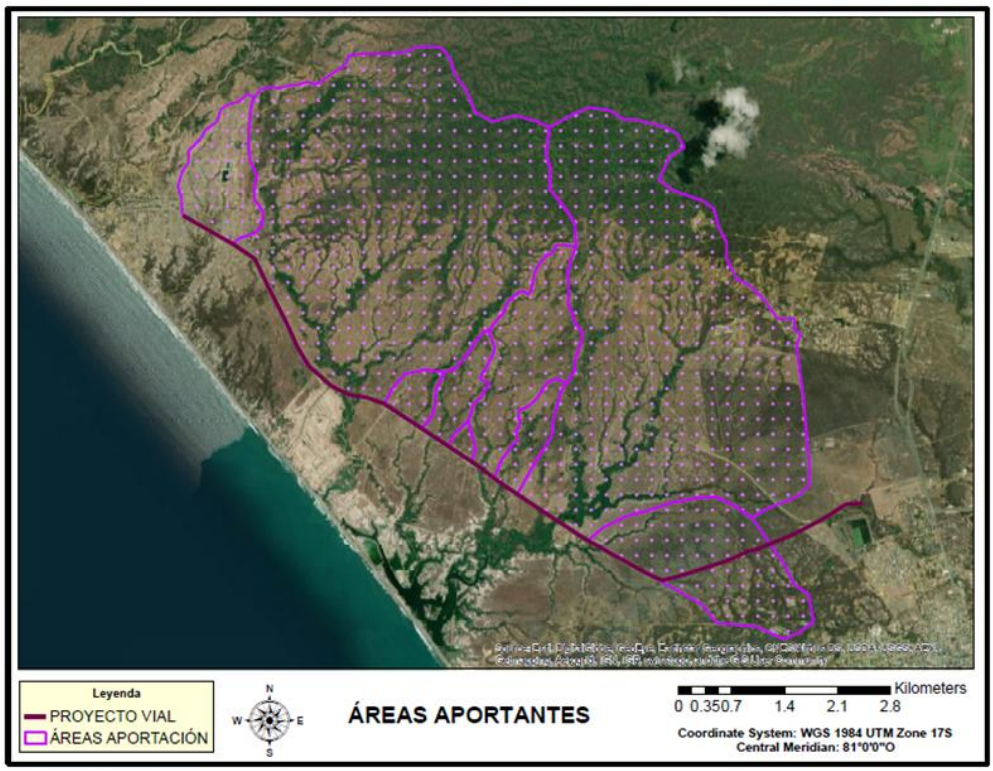
De acuerdo con la normativa y recomendaciones del MTOP para el diseño hidráulico de obras de arte menor (alcantarillas) se establece un periodo de retorno de 25 años y para puentes de 100 años.

6.4 DELIMITACION DE LAS ÁREAS DE APORTACIÓN HÍDRICA

Con base a los levantamientos topográficos y la información en formato MDT y DWG se ha procedido a realizar la delimitación y caracterización de las áreas de aportación, en especial de las obras de arte mayor (puentes). La delimitación realizada puede verse en la FIGURA No. 1.

Las principales características de estas cuencas hidrográficas hasta el límite de la zona de influencia del tramo vial en estudio se señalan en el CUADRO No.6.

Figura No. 1 ÁREAS DE APORTACIÓN HÍDRICA



Cuadro No. 6 CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN

SITIO	OBRA	Área (Km2)	Long cauce (Km)	Desnivel cauce (m)	Pendiente cuenca (%)
FASE 1 T1					
1+300.85	O. A. m. existente	0.20	0.45	7.1	7.1
1+781.90	O. A. m. existente	0.41	1.19	43.9	43.9
2+895.36	O. A. m. nueva	0.10	0.50	6.7	6.7
3+698.73	O. A. m. nueva	0.16	0.58	8.3	8.3
4+720.90	O. A. m. existente	2.77	3.32	16.7	16.7
5+415.84	O. A. M.	13.72	7.51	101.3	101.3
6+322.10	O. A. m. existente	0.57	1.69	13.0	0.80

SITIO	OBRA	Área (Km2)	Long cauce (Km)	Desnivel cauce (m)	Pendiente cuenca (%)
6+610.02	O. A. m. existente	2.61	4.00	32.3	32.3
7+344.45	O. A. m. existente	0.63	1.79	12.7	0.7
7+909.22	O. A. m. existente	0.36	0.89	8.00	0.9

6.5 TIEMPO DE CONCENTRACION

Se define como tiempo de concentración al período requerido por una gota de agua para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración *tc*.

El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros, de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente, pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y un menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, la cobertura vegetal, etc.

La determinación del tiempo de concentración se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas, las de Agres, la del USDA y la de Comack; en cuanto a las ecuaciones, destacan las de Bransby-Williams, Ventura-Heras, Giandotti, Kirpich, Passinni, Témez, Rowe, Soil Conservation Service y California Culverts Practice.

Se ha utilizado la fórmula de Kirpich para calcular el tiempo de concentración debido a que se acopla tanto a la zona de valles como de montaña, cuya expresión es la siguiente:

$$tc = \left(0.87 \frac{L^3}{Hc}\right)^{0.385}$$

Donde *L* es la longitud desarrollada del cauce principal, *Hc* es el desnivel del cauce principal, que se estima como la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la cota del sitio de ubicación de cada obra.

6.6 **ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Para la estimación de caudales de diseño existen principalmente dos grandes grupos de métodos de estimación de avenidas: los modelos determinísticos, que estudian los fenómenos hidrológicos considerando relaciones precisas de causa-efecto sin tener en cuenta las condiciones aleatorias del fenómeno o sus componentes, y los modelos estocásticos, que estudian los fenómenos hidrológicos bajo un aspecto probabilístico, sobre la base de los datos disponibles de lluvia y/o de caudales.

En general siempre prevalece la aplicación de métodos de tipo probabilístico, y en concreto, la de aquellos que están basados en datos de lluvias, denominados métodos hidrometeorológicos (o modelos de transformación lluvia-escurrimiento).

Los modelos lluvia escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en cuencas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

De esta manera, a través de datos históricos de lluvia de corta duración, definidos para el área de estudio, aplicados al área de aportación (cuenca hidrográfica) con características específicas como: área, tipo de suelo, vegetación, pendiente, humedad, etc., se calcula el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial.
Se ha definido dos metodologías: Para las obras de arte menor (alcantarillas, cunetas) el uso de las fórmulas hidrológicas y para obras de arte mayor (puentes y viaductos) el método del hidrograma de escorrentía superficial.

a) FÓRMULA HIDROLÓGICA

Para el presente estudio se propone la "fórmula racional", que permite el cálculo de los caudales de crecida en función de las intensidades máximas y supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración. Su aplicación se restringe a áreas de aportación que no excedan de los 13 Km2, en este caso este procedimiento se empleará para las obras de arte menor.
Para determinar el caudal máximo se emplea la siguiente expresión:

$$Q = c \quad I \quad A$$

Donde:
Q es el caudal en m3/s.
c es la relación del caudal pico a la lluvia media (incluye una constante de conversión de unidades *c*=C/3.6).
Para nuestro caso se ha utilizado un coeficiente de escorrentía de 0.42 Fuente: Hidrología Aplicada Ven Te Chow
A es el área equivalente de aporte en Km2.

El valor de C corresponde al coeficiente de escorrentía ponderado para el total del área aportante.
b) MÉTODO DEL HIDROGRAMA DE ESCORRENTÍA

Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para cuencas de drenaje de mediano tamaño, pero para áreas mayores se ha propuesto subdividir en subcuencas y/o aplicar una ponderación del grado de simultaneidad de las precipitaciones en el área de cálculo, según del tamaño de cada cuenca.

En el presente estudio se propone el empleo del modelo interactivo HEC-HMS que simula los principales componentes del fenómeno de formación de la escorrentía en un río a causa de una tormenta que cae sobre la cuenca, tomando como base la precipitación total y la creación de un hidrograma unitario característico producido por cada una de las subcuencas y su tránsito a través del cauce principal de la misma. El modelo requiere de un hietograma de precipitación máximas para el periodo de retorno seleccionado.

El modelo HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), desarrollado en el "Hydrologic Engineering Center" (HEC) del "U.S. Army Corps of Engineers", forma parte de los distintos modelos comerciales programados por el HEC para facilitar el análisis de los casos sometidos a estudio y su código está ampliamente contrastado.

El modelo se utiliza para la obtención de la ley de frecuencia simulada de caudales en el punto (o puntos) de interés, es decir, el programa permite abordar el estudio de cuencas no aforadas dando como resultado el hidrograma completo de la avenida. Por otro lado, se definen las características de la cuenca, entre las que destacan: el área y la ley para obtener la lluvia neta a partir del número de curva (NC) del S.C.S. También se incluye la transformación de la lluvia en escorrentía como, por ejemplo, con la utilización del H.U. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico.

Los principales parámetros para la aplicación del HEC-HMS conforme los lo establece la aplicación del método son: el hietograma de la tormenta tipo y el tiempo de desfase (T_{lag}) que es igual a 0,60*t_C.

La obtención de la lluvia neta requiere descontar de la lluvia total aquella parte que queda interceptada por la vegetación, almacenada en charcos o que infiltra hacia el acuífero y por tanto, no forma parte del hidrograma de avenida. En este estudio se ha utilizado la metodología del número de curva del S.C.S. (Soil Conservation Service, 1.972), que asume la existencia de un umbral de escorrentía (P_o), por debajo del cual las precipitaciones caídas no generan escorrentía (E), cumpliéndose:

$$E = 0 \quad \text{si} \quad P \le P_0$$

$$E = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0} \quad \text{si} \quad P > P_0$$

Donde:

P = precipitación caída, en mm.
Po = umbral de escorrentía, en mm.
E = volumen de escorrentía.

El análisis ha realizado a partir de los correspondientes números de curva (*N*) de las cuencas. Los *N´*s de las cuencas se obtienen a partir de la formulación que relaciona el valor del coeficiente de escorrentía "C" con el umbral de escorrentía *Po*, la precipitación e intensidad de precipitación máximas de la zona estudiada y el número de curva (*N*).

Los resultados de los procedimientos antes señalados se presentan en el CUADRO No. 7.

Cuadro No. 7 CAUDALES MÁXIMOS EN LOS SITIOS DE INTERÉS

SITIO	OBRA	Tc (min)	Lag Time (min)	I Abst Po (mm)	Q max 25 años (m3/s)	Q max 100 años (m3/s)
FASE 1 T1						
1+300.85	Obra Arte Menor	10.5			3.0	
1+781.90	Obra Arte Menor	16.3			5.34	
2+895.36	Obra Arte Menor	12.3			1.4	
3+698.73	Obra Arte Menor	13.5			2.2	
4+720.90	Obra Arte Menor	76.9			22.4	
5+415.84	Obra Arte Mayor	98.6				94.9
6+322.10	Obra Arte Menor	38.8			5.70	
6+610.02	Obra Arte Menor	74.0			21.3	
7+344.45	Obra Arte Menor	41.9			6.1	
7+909.22	Obra Arte Menor	22.4			4.2	

6.7 CAPACIDAD Y NIVELES PARA LOS CAUDALES DE CRECIDA

6.7.1 ALCANTARILLAS

Una primera verificación consiste en establecer para la sección establecida su capacidad máxima y compararlo con el caudal de diseño a un porcentaje máximo de llenado; las relaciones de velocidad y caudales a ducto lleno, para una sección circular, son:

$$Vll = \frac{1}{n}\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} J^{1/2}$$

$$Qll = \frac{Vll\ \pi\ (D)^2}{4}$$

Para una sección rectangular son:

$$Vll = \frac{1}{n}\left(\frac{B\ H}{B+2H}\right)^{2/3} J^{1/2}$$

$$Qll = Vll\ B\ H$$

El diseño de una alcantarilla se lo realiza, generalmente, a un valor menor del 100% de su capacidad de la sección transversal del ducto (entre 70% a 90%); el objetivo es dar un rango de seguridad para la evacuación de palizadas y escombros que generalmente en épocas de crecidas son llevadas por la corriente de los cauces. En este caso se ha tomado un 80%.

El segundo análisis pretende establecer la velocidad máxima admisible, asumiendo la presencia de flujo uniforme y permanente, mediante la ecuación de Manning. En este caso se ha empleado el programa HCANALES, que resuelve la ecuación:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3}\ J^{1/2}$$

En la que *A* es el área hidráulica total, *R* el radio hidráulico de la sección, *n* número de Manning y *J* la pendiente longitudinal.

En realidad, el diseño de una alcantarilla es más complejo cuando existe efecto de sumergencia o remanso del flujo, para evitar estas condiciones se establece como condición del diseño condiciones de descarga libre. Este análisis se realiza posteriormente a los ductos de los 2 sitios analizados como obras de arte mayor.

6.7.2 PUENTES

Para el análisis hidráulico del cauce y la determinación del nivel máximo de crecida en los sitios de los puentes se utilizó el Programa HEC-RAS, que permite considerar las secciones reales del cauce y visualizar su comportamiento en tres dimensiones. El programa requiere de secciones transversales y la definición de ciertos parámetros hidráulicos adicionales:

a) RUGOSIDAD DEL CAUCE

Para estimar un coeficiente de Resistencia de Manning n que represente las condiciones hidráulicas del flujo en el tramo de estudio se deben realizar las siguientes consideraciones:

El cauce principal tiene sinuosidad y una gran variabilidad de material de arrastre, partículas desde arenas hasta material antrópico grueso; el cauce de inundación presenta igualmente material grueso y en las márgenes se exhibe vegetación. Por lo expuesto, se ha estimado un valor global del coeficiente de resistencia.

Un valor básico de n para el cauce se ha estimado en función de la ecuación de Subramanya, según lo presente French (1991):

$$n = 0.047\, d_{50}^{1/6}$$

Donde d_{50} es el diámetro del material del fondo tal que el 50% del material por peso es menor, que corresponde al material de arrastre del cauce.

Para considerar el resto de condicionantes de la macro resistencia del flujo tanto en el cauce principal como en las márgenes donde circulan las crecientes, se ha empleado la metodología de Cowan, conforme lo presenta Chow (1982), que considera los factores de: Grado de irregularidad (n1), variaciones de la sección transversal (n2), efecto de obstrucciones (n3), vegetación (n4) y presencia de meandros (m5). Véase Cuadro No. 8.

Cuadro No. 8 AJUSTES COEFCIENTE DE MANNING EN SITIO DEL PUENTE

no	n1	n2	n3	n4	m5	n
0.0218	0.005	0.005	0	0	1	0.032

b) CONDICIONES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO

Se requiere estimar el gradiente hidráulico en la frontera, para ello se aproxima la pendiente del lecho del cauce tanto aguas arriba como aguas abajo.
El trayecto de la vía se ubica en terrenos de baja pendiente y en ciertos sitios muy

cercano al efecto de la marea. En realidad, el efecto de marea estaría muy limitado, más bien consecuencias de inundación general puede repercutir con potenciales remansos en las obras propuestas, por lo que se ha considerado con el gradiente de aguas abajo respectivo en la modelación hidráulica del flujo.

6.8 **ESTIMACIÓN DE NIVELES DE SOCAVACIÓN**

El proceso de socavación es un fenómeno que se produce en todo cauce natural por efecto del aumento de la capacidad de transporte del flujo de agua en la crecida; este efecto es más importante estudiar en los puentes por la mayor cantidad de agua. La selección de los criterios a ser considerados en el análisis de la socavación está en función de las características del cauce en cuanto a su fisiografía, forma de la estructura en contacto con el agua, material del lecho del cauce y sus laderas, y la ubicación y direccionamiento de la estructura (estribos) respecto al flujo principal de la corriente para los niveles de crecida.

Los tipos de socavación que podrían presentarse en los cauces de los diferentes puentes de la vía son las siguientes:

- Socavación general del cauce producida durante el flujo de la crecida por aumento de la capacidad de transporte del río.

- Socavación transversal bajo el puente por aumento de la velocidad originada por la disminución de la sección transversal.

6.8.1 SOCAVACIÓN GENERAL

El método de Lischtvan-Levediev, para la estimación de la socavación de la socavación general y transversal, establece las condiciones del cauce (definido o indefinido), del material de fondo (granular o cohesivo) y la distribución de los estratos en el perfil del suelo (homogéneo o heterogéneo). En el presente caso se ha definido a la sección de cauce como definida, material de fondo granular y homogéneo.

De acuerdo con esta metodología, presentada por Aguirre (1988), para suelos cohesivos se tiene la siguiente expresión:

$$Ys + Yn = \left(\frac{\alpha^1 \quad Yn^{5/3}}{0.6 \quad \gamma_s^{1.18} \quad \beta \quad \psi} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

Donde:

$$\alpha^1 = \left(\frac{Qd}{Ym^{5/3} \quad Cc \quad Be} \right)$$

Qd = Caudal de diseño.
Be = Ancho efectivo entre estribos.
Cc = Coeficiente de contracción función de la velocidad media y de la longitud entre los estribos.
x = coeficiente en función del diámetro medio.
Ym = Profundidad media de la sección transversal del cauce.
Yn = Calado en el punto considerado.
γs = Peso específico del material de fondo.
β = Coeficiente en función de la probabilidad de ocurrencia del caudal de diseño.
Ψ= Factor de corrección por material de suspensión.

6.8.2 SOCAVACIÓN POR CURVATURA

El efecto del cambio de dirección del flujo en una curva provoca una profundización del lecho del cauce. Según Maza (WL/Delft Hydraulics) se calcular mediante la expresión:

$$\frac{y_C + y_n}{y_n} \approx 1.5 \quad a \quad 2.5$$

Donde y_n es la profundidad normal antes del proceso erosivo

6.9 **PROTECCIÓN DEL LECHO DEL CAUCE**

El diseño de enrocados como alternativa para protección del lecho del cauce bajo los puentes se basa en el estudio de las condiciones críticas de movimiento de una roca en una corriente de agua. Stephenson, según lo menciona Flores (1977), establece que la velocidad de flujo en un canal depende de la pendiente y la rugosidad del canal y propone la siguiente expresión para el cálculo del diámetro del enrocado de fondo:

$$D_f = \left[\frac{qS^{7/6}\varepsilon^{1/3}}{Cg^{1/2}((1-\varepsilon)\Delta\tan\varphi)^{5/3}} \right]^{2/3}$$

Donde:

q :caudal unitario (m3/s/m)
C : constante
S : pendiente del caudal
Δ : densidad relativa de la roca
ε : porosidad
φ : ángulo de reposo
D_f : diámetro del enrocado de fondo (m)

Las márgenes naturales del cauce junto al puente, tanto aguas arriba como aguas abajo pueden estar sujetas a la propagación de efectos erosivos resultantes de la modificación de la estabilidad del cauce; este es un proceso complejo que puede involucrar tramos amplios del lecho del cauce.

Una medida para controlar el efecto erosivo en las márgenes contiguas al puente consiste en el recubrimiento con enrocado de protección. Para el diseño del tamaño de la piedra de protección del enrocado se puede considerar la metodología del HEC-18 (2001), que define el tamaño de la roca de protección de la siguiente manera:

$$D_{50} = \frac{0.692\ (K\ V)^2}{2\ g\ (G_s - 1)}$$

El esquema sugerido de protección se presenta en el Figura No. 2

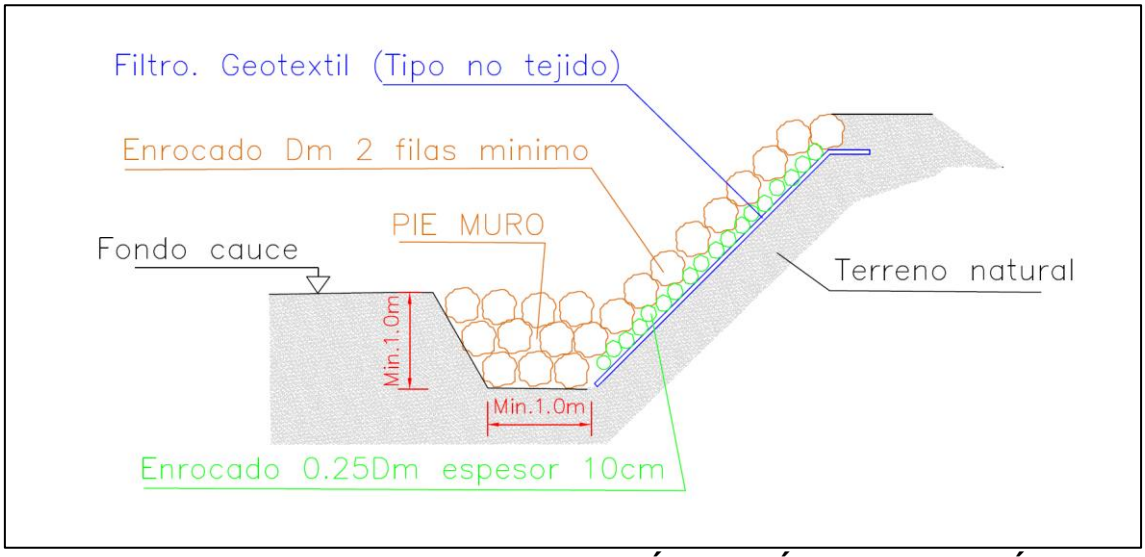


Figura No. 2 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE MÁRGENES DEL RÍO

7 EVALUACIÓN DE LAS OBRAS EXISTENTES

La evaluación se realiza únicamente en el tramo de la FASE 1 por cuanto en la FASE 1I no se tienen ductos existentes. En este tramo se ubican 12 ductos que cruzan la vía, de estos 2 corresponden a nuevas obras proyectadas, las 10 obras restantes siguen el proceso de evaluación que se realiza a continuación. De estas obras, 2 son consideradas inicialmente como obras de arte mayor, por lo que se las realiza un análisis posterior.

El comportamiento de una alcantarilla depende de las características del flujo en la entrada y en la salida, y dependiendo de estas condiciones la descarga puede variar

desde libre hasta sumergida. La información disponible permite realizar, por un lado, un análisis cualitativo del estado actual de las obras entrada y salida y el ducto; y, por otro lado, una valoración de la capacidad hidráulica del ducto. Para lo cual se ha buscado sistematizar un procedimiento que permita tener indicios de un patrón de comportamiento de las diferentes alcantarillas analizadas.

Se han tomado en cuenta las siguientes restricciones:

- Se analiza el flujo únicamente en el ducto, es decir, no se consideran las características aguas arriba y aguas abajo. La valoración se realiza a flujo libre y a un porcentaje de su capacidad.
- El flujo es uniforme y permanente.
- Se asume una rugosidad uniforme (Número de Manning) en las paredes del ducto en función del tipo de ducto, para el caso de las alcantarillas circulares de hormigón 0.016 y para las de tipo cajón de hormigón 0.017.
- Gradiente hidráulico del comportamiento del flujo a través de la alcantarilla igual a la pendiente del ducto, conforme a la información recibida.
- Actualización de los valores de precipitación actualización de lluvias intensas que desarrollo el INAMHI a nivel nacional en el año 2019 que produjo modificaciones sustanciales en los valores de intensidades de precipitación máximas para diferentes periodos de retorno.

7.1 **VALORACIÓN CUALITATIVA DE LAS ALCANTARILLAS**

Un primer criterio considerado es "el grado de obstrucción del ducto de la alcantarilla", con base de los siguientes criterios:

0 Ninguna obstrucción
1 Poca obstrucción
2 Mediana obstrucción
3 Alta obstrucción

Un segundo criterio es el tamaño de área de drenaje, en base a una distribución de frecuencias de acuerdo con número de cuencas de un mismo tamaño, con lo que se han definido 5 rangos cuya caracterización es la siguiente:

1 Muy pequeña
2 Pequeña
3 Mediana
4 Grande
5 Muy grande

Del recorrido de campo se han definido ciertos parámetros para valoración que permiten identificar los problemas existentes:

CONDICIONES DE OPERATIVIDAD:

- Presencia de un ducto de sección múltiple que advierte la presencia de grandes caudales de tránsito.
- Ducto existente con solera en contrapendiente a la dirección de descarga del flujo.
- Taponamiento por presencia de material de arrastre o desprendimientos localizados.

CONDICION ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA

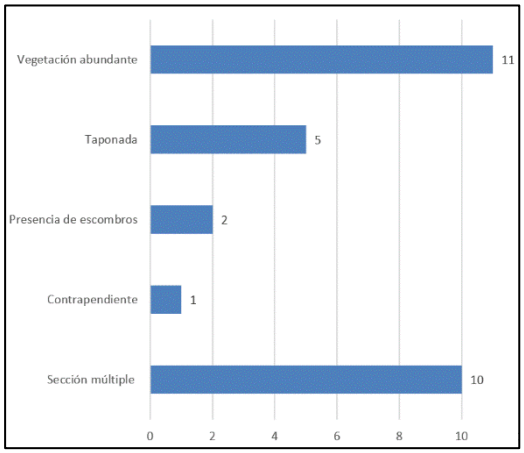
- Vegetación abundante por falta de mantenimiento.

INJERENCIA ANTROPICA

- Presencia de escombros y basura que reducen la sección hidráulica, y evidencia la necesidad un mantenimiento adicional.

En el Gráfico No. 5 se presenta el número de veces que estos parámetros de la valoración cualitativa se presentan en las alcantarillas analizadas.

Gráfico No. 5 FRECUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE VALORACIÓN



7.2 VALORACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS

Con base a la información procesada y los parámetros antes señalados se realizó una valoración de la capacidad hidráulica de cada uno de los 10 ductos existentes del tramo de la FASE 1. De los resultados obtenidos se puede establecer lo siguiente:

- De las 10 alcantarillas, 4 tienen capacidad hidráulica para la conducción del caudal requerido para la evacuación de la crecida de 25 años, al 80% de su capacidad.
- Tres alcantarillas tienen ductos que no tiene la sección mínima sugerida por el MTOP.
- Del análisis de la velocidad máxima admisible se observa que hasta 4 alcantarillas cumplen con los valores de velocidad máxima en la descarga.
- Por lo tanto, 3 alcantarillas cumplen todos los requerimientos.

Los cálculos permiten definir que estructuras no tienen, a priori, la capacidad de conducción de los caudales de drenaje (sin capacidad), que puede deberse a que la sección del ducto es limitada, o que la pendiente es limitada. Adicionalmente se señala las alcantarillas que, si bien tienen capacidad hidráulica, no tienen las dimensiones mínimas establecidas en las recomendaciones del MTOP. Véase CUADRO No. 9.

Cuadro No. 9 VALORACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS

ALCANTA-RILLA ABSCISA	No. de ductos	Pend (m/m)	n Manning	SECCIÓN		FLUJO LLENO	FLUJO LIBRE	RESULTADOS EVALUACION
				D o B (m)	H (m)	Capacidad	Velocidad admisible	
FASE 1 T1								
1+300.85	2	0.0230	0.016	0.90		Cumple	Cumple	Sección menor a la mínima
1+781.90	2	0.0030	0.017	2.50	1.80	Cumple	Cumple	Tiene capacidad.
2+895.36								
3+698.73								
4+720.90	2	0.0110	0.016	1.20		Recalcular		Sin capacidad.
5+415.84	2	0.0075	0.017	3.10	2.00	Recalcular		Sin capacidad.
6+322.10	2	0.0240	0.016	0.90		Recalcular		Sección menor a la mínima
6+610.02	2	0.0050	0.017	3.05	2.10	Cumple	Cumple	Tiene capacidad.
7+344.45	2	-0.0057	0.016	0.90				Contrapendiente. Sección menor a la mínima
7+909.22	1	0.0189	0.016	0.90		Recalcular		Sin capacidad. Sección menor a la mínima

7.3 **RECOMENDACIONES PROPUESTAS**

La calificación de los parámetros antes señalados permitió establecer las siguientes recomendaciones para el mejoramiento del sistema de drenaje de la vía:

NUEVO DUCTO: por los análisis realizados se requiere colocar una nueva estructura, es decir se requiere cambiar el ducto (circular o cajón).

OBRA DE ENTRADA: Se requiere una nueva obra de entrada cuando procede la renovación total de la alcantarilla; o, en el caso de alargamiento del ducto en el sitio de entrada.

OBRA DE SALIDA: Se requiere una nueva obra de salida cuando procede la renovación total de la alcantarilla; o, en el caso de alargamiento del ducto en el sitio de salida.

ENCAUZAMIENTO: en ciertos sitios se requiere la apertura o rehabilitación de los cauces de entrada y/o salida de las alcantarillas.

ALARGAMIENTO DEL DUCTO: Muchos ductos tienen capacidad de conducción y condiciones físicas para mantenerse operativo, pero requieren ser alargados manteniendo su sección hidráulica y la pendiente longitudinal.

DERROCAMIENTO DE LA OBRA EXISTENTE: En las alcantarillas que serán renovadas, se recomienda eliminar la obra existente para evitar movimientos incontrolados del agua de escurrimiento o escorrentía.

RELLENO EN CIMENTACIÓN: En algunos nuevos cruces o en el alargamiento de los ductos, las obras de entrada o salida se ubican de acuerdo con diseño realizado en niveles superiores a las cotas del terreno existente, por lo que se requiere crear un relleno competente. El volumen de relleno estimado corresponde únicamente a la cantidad de suelo requerido para restablecer la condición final de la obra, por lo que las necesidades reales de relleno dependerán de un análisis de tipo de suelo y requerimientos estructurales.

ELIMINACION CRUCES TRANSVERSALES: De acuerdo con los estudios hidráulicos en determinados sitios se observa que la ubicación del ducto de la alcantarilla no cumple eficientemente la función de drenaje, esto es, permitir el cruce de las aguas lluvias de una margen a otra. En estos casos su rehabilitación es innecesaria y de acuerdo con los estudios realizados el drenaje se lo ha asignado a alcantarillas contiguas. En estos sitios igualmente se debe eliminar la obra existente.

En el Cuadro No. 10 se presentan los principales problemas existentes en cada una de las alcantarillas evaluadas y las recomendaciones propuestas para la rehabilitación del sistema de drenaje.

Cuadro No. 10 RECOMENDACIONES PROPUESTAS

BSCISA Sitio	Obra Requerida	GRADO OBSTRUC.	Área Aportante	PROBLEMAS EXISTENTES					RECOMENDACIONES PROPUESTAS							
		de 0 a 3	De 1 a 5	Sección	Contrapendi	Presencia de	Taponamient	Vegetación	Nuevo ducto	Obra de	Obra de	Encauzamie	Alargamient	Derrocamien	Relleno en	Eliminación
FASE 1 T1																
1+300.85	Alcantarilla	2	1	X			X	X	X	X	X			X		
1+781.90	Alcantarilla	1	3	X		X	X	X		X	X		X			
2+895.36	Alcantarilla								X	X	X					
3+698.73	Alcantarilla								X	X	X	X				
4+720.90	Alcantarilla	2	2	X				X	X	X	X			X		
5+415.84	Alcantarilla	2	5	X				X	X	X	X			X		
6+322.10	Alcantarilla	2	1	X		X		X	X	X	X	X		X		
6+610.02	Alcantarilla	1	3	X				X		X	X		X			
7+344.45	Alcantarilla	2	2	X	X		X	X								X
7+909.22	Alcantarilla	2	2				X	X								X

Las alcantarillas de las abscisas 7+344.45 y 7+909.22 son eliminadas por cuanto, de acuerdo con los estudios hidráulicos, se observa que la ubicación del ducto de la alcantarilla no cumple eficientemente la función de drenaje, esto es, permitir el cruce de las aguas lluvias de una margen a otra.

8 DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

En función del análisis anterior se ha procedido a realizar un diseño de las diferentes obras requeridas de manera de estimar el comportamiento hidráulico y definir los requerimientos de secciones de los ductos que cruzarán la vía, con esto se busca garantizar su operación y optimizar los niveles de la rasante de la vía en cada uno de

los sitios.

A continuación, se presenta los resultados de los diseños de las diferentes obras de arte mayor y menor de la vía Playas – Engabao.

8.1 **OBRAS DE ARTE MENOR**

8.1.1 ALCANTARILLAS

La alcantarilla tipo está conformada por tres estructuras:

a) Estructura de entrada que permite captar las aguas de cauces naturales, cunetas o zanjas de encauzamiento; puede ser tipo muro de ala, a colocarse en sitios donde el cauce de entrada está claramente definido y se requiere direccionar el flujo hacia el ducto de la alcantarilla; o, tipo tanque, utilizado en aquellos sitios donde no existe un cauce de entrada definido y en el que se requiere recolectar aguas de estructuras creadas: cunetas, canales de encauzamiento, entre otros.

b) El ducto que puede ser de tubería y rectangular tipo cajón.

c) Estructura de salida, que permite depositar y direccionar todas las aguas captadas hacia el cauce natural existente o zanja de encauzamiento a crearse. Los tanques de entrada de las alcantarillas son del tipo muro de ala M o tipo tanque T; los tanques de salida son todos tipo M.

Por las características de la vía se ha seleccionado que las alcantarillas sean de hormigón armado, circulares para los caudales pequeños y medianos; y, tipo cajón para grandes caudales o en sitios donde existe limitación de la altura de relleno sobre la clave del ducto. Se ha considerado un *n de Manning* de 0.016 para las circulares y 0.017 para las "tipo cajón", de esta manera se estaría considerando parcialmente el efecto de juntas y posible acumulación de material de arrastre.

Los resultados de los cálculos hidráulicos de las alcantarillas se presentan en el CUADRO No. 11.

Cuadro No. 11 DISEÑO DE LA SECCION HIDRÁULICA

ALCANTA-RILLA ABSCISA	No. de ductos	Pend (m/m)	n Manning	SECCIÓN		FLUJO LLENO		FLUJO LIBRE		
				D o B (m)	H (m)	Vll (m/s)	Qll (m3/s)	Y (m)	V (m/s)	A (m2)
FASE 1 T1										
1+300.85	1	0.0200	0.016	1.50		4.60	8.12	0.63	4.24	0.70
1+781.90	2	0.0030	0.017	2.48	1.84	2.62	11.95	0.61	1.76	3.03
2+895.36	1	0.0200	0.016	1.20		3.96	4.48	0.46	3.51	0.40
3+698.73	1	0.0030	0.016	1.50		1.77	3.12	0.93	1.92	1.15
4+720.90	1	0.0100	0.017	2.40	2.40	5.07	29.20	1.94	4.82	4.65
5+415.84	4	0.0050	0.017	4.00	4.00	5.04	80.62	1.58	3.83	25.25
6+322.10	2	0.0050	0.017	1.50	1.50	2.62	5.90	0.84	2.25	2.53
6+610.02	2	0.0050	0.017	3.05	2.10	3.84	24.59	1.12	3.12	6.84

En el Cuadro No. 12 se presentan las principales características constructivas de las alcantarillas propuestas, que son parte del diseño realizado.

Cuadro No. 12 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS ALCANTARILLAS

ABSCISADO	D o B (m)	H (m)	TIPO	LONG. DUCTO (m)	COTA ENT. (msnm)	COTA SAL. (msnm)	OBRA ENTRADA Tipo
FASE 1 T1							
1+300.85	1.50		Circular	24.6	23.55	23.06	M
1+781.90	2.48	1.84	Cajón	12.4	20.16	20.08	M
2+895.36	1.20		Circular	26.10	20.41	19.89	M
3+698.73	1.50		Circular	21.96	12.52	12.45	M
4+720.90	2.40	2.40	Cajón	19.89	5.04	4.84	M
5+415.84	4.00-3.50	4.00	Cajón	18.10	2.45	2.36	M
6+322.10	1.50	1.50	Cajón	24.0	5.33	5.21	M

ABSCISADO	D o B (m)	H (m)	TIPO	LONG. DUCTO (m)	COTA ENT. (msnm)	COTA SAL. (msnm)	OBRA ENTRADA Tipo
6+610.02	3.05	2.10	Cajón	8.77	4.31	4.20	M

8.1.2 ZANJAS DE ENCAUZAMIENTO

En ciertas alcantarillas los cauces de entrada y salida deben ser ampliados para facilitar el cruce de los caudales transitados por las crecidas, para esto se ha previsto la apertura de "zanjas de encauzamiento". Estas zanjas deben tener una base B de al menos el ancho del ducto de la alcantarilla (D, para ductos circulares; o, B, para ductos tipo cajón). Los taludes de corte para la excavación de los taludes se han definido en una relación V=1: H=0.5, debido al tipo de suelo.

8.1.3 ENROCADO DE PROTECCIÓN

En la obra de salida de cada alcantarilla se colocará un enrocado de protección del lecho del cauce con piedra de diámetro mayor o igual 20 cm en un área cuyo ancho sea la dimensión de la base de la obra de salida y la longitud garantice el control de la erosión de las aguas de descarga para los caudales de crecida. Esta estimación deberá ser verificada in situ, durante el proceso constructivo.

En los planos de diseño se presentan los perfiles del trazado longitudinal y la implantación de cada una de las alcantarillas.

8.2 **OBRAS DE ARTE MAYOR**

8.2.1 SITIO ABSCISA 5+415.84

a) UBICACIÓN DEL PUENTE

El eje de la estructura cruza el cauce en las siguientes coordenadas:

LONGITUD: 562.419 E

LATITUD: 9 711.447 N

ALTURA: 2.95 m.s.n.m.

b) ÁREAS DE APORTACIÓN

Con base en las cartas topográficas del IGM en escala 1:50.000 (en formato shape) se ha delimitado la cuenca hidrográfica del cauce hasta el sitio de estudio, cuya área de aportación es de 13.59 Km2.

c) LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

La longitud del cauce principal de la cuenca del cauce en estudio hasta el sitio del cruce del puente es de 7.51 Km.

d) DESNIVEL DEL CAUCE PRINCIPAL
El desnivel del cauce principal es la diferencia entre la cota más alta y la cota más baja de cada subcuenca, este valor es de 101.3 m.

e) PENDIENTE LONGITUDINAL
La pendiente media longitudinal de la cuenca es de 1.3 %.

f) RUGOSIDAD DE CAUCE
Se ha estimado un valor global del coeficiente de resistencia igual a 0.032.

g) CAUDAL DE DISEÑO
El caudal estimado por el método racional para este puente es de 94.9 m3/s.

h) SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE
Sobre la base la faja topográfica disponible se eligieron 20 secciones transversales representativas del cauce de manera de dar más precisión a los cálculos.

i) CONDICIONES DE CONTORNO
Aguas arriba: 0.003 m/m
Aguas abajo: 0.001 m/m

j) RESULTADOS DE LA MODELACION HIDRÁULICA
Se ha realizado la modelación de las siguientes alternativas de la sección hidráulica del cruce del cauce a través de la vía:

- Sección de la alcantarilla existente.
- Puentes de luces efectivas entre estribos de 10 m, 15 m, 20 m, 25 m y 30m.
- Alcantarilla Cajón de 4 ductos: 2 de sección B=4.00m x H=4.00m y 2 de sección B=3.50m x H=3.50m.

Para comparar las alternativas se ha seleccionado un período de retorno de 100 años, los resultados de la modelación del cauce con las secciones indicadas y para los parámetros de diseño antes señalados, se presentan a continuación:

- **PERFIL LONGITUDINAL**

Figura No. 3 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. ALCANTARILLA EXISTENTE

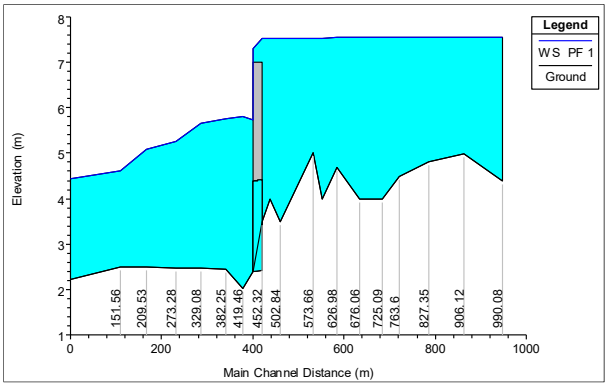


Figura No. 4 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. PUENTE L=20m

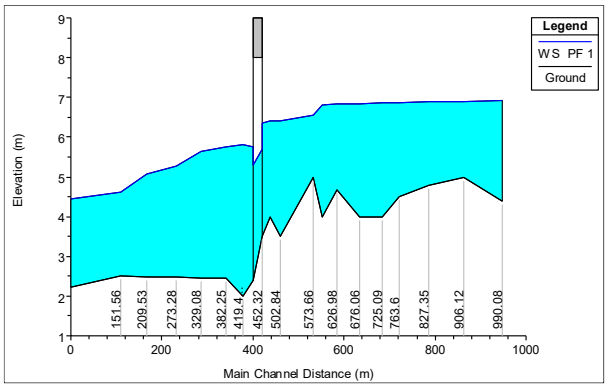
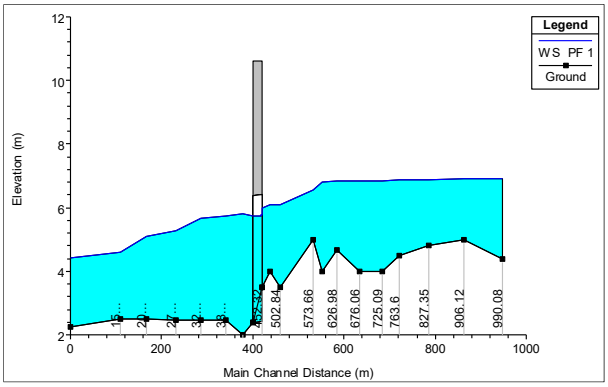


Figura No. 5 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE. DUCTO CAJÓN



- **NIVELES DE CRECIDA**

Cuadro No. 13 ALTERANTIVAS ANALIZADAS

ALTERNATIVAS	N. CRECIDA (m.s.n.m.)		No. ductos	B	H	No. ductos	B	H
	ARRIBA	ABAJO		(m)	(m)		(m)	(m)
Cauce sin obras	5.87	5.8						
Puente L=30m	6.24	5.74						
Puente L=25m	6.28	5.74						
Puente L=20m	6.36	5.74						
Puente L=15m	6.65	5.74						
Puente L=10m	7.3	5.74						
4 DUCTOS	5.97	5.74	2	4.00	4.00	2	3.50	4.00
Alcant existente	7.51	5.74	2	3.10	2.00			

- **ALTERNATIVA SELECCIONADA**

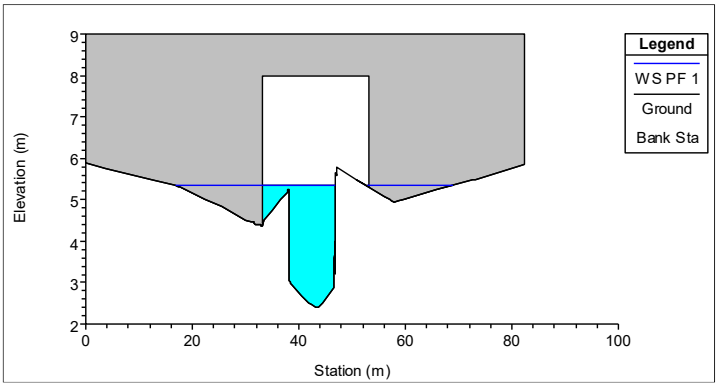
Por condicionantes del trazado vertical de la vía en el sector y requerimientos estructurales se he seleccionado la alternativa de puente con una luz efectiva de 20m.

Con el fin de mantener la normativa vigente se debe dar un bordo libre de 2.00 m para el tránsito de palizadas, que son frecuentes en los eventos extremos. Los parámetros básicos de diseño resultantes son los siguientes:

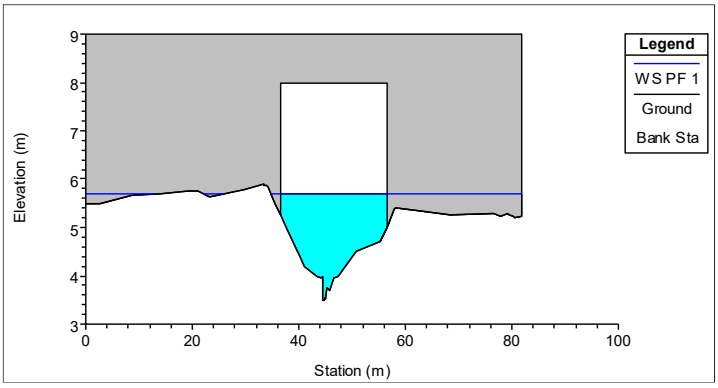
- Periodo de retorno: 100 años.
- Caudal de máximo de crecida: 94.9 m3/s.
- Cota promedio del fondo lecho cauce bajo Puente: 2.95 m.s.n.m.
- Luz efectiva entre estribos: 20 m.
- Cota nivel de crecida sección aguas arriba: 6.36 m.s.n.m.

- **SECCIONES TRANSVERSALES JUNTO AL PUENTE**

AGUAS ARRIBA



AGUAS ABAJO



- **NIVELES DE SOCAVACIÓN**

Para la estimación de las características del estrato del suelo bajo el puente se cuenta con los resultados de ensayos de laboratorio realizados por Cevaconsult (2021), mediante la perforación P2. Estos estudios señalan que el lecho del cauce, a los niveles de socavación, está constituido por arenas limosas de grano muy fino, por lo que se puede concluir que el comportamiento hidráulico del cauce será tipo cohesivo.

Para este puente se ha definido a la sección de cauce como definida, material de fondo cohesivo y homogéneo; y, se ha considerado como critica la sección del puente en su borde aguas abajo.

Los principales parámetros para el análisis de la socavación general, para la sección bajo el puente inmediatamente aguas abajo, son los siguientes:

Qd = 94.9 m3/s

Be = 13.57 m

Ym = 1.33 m

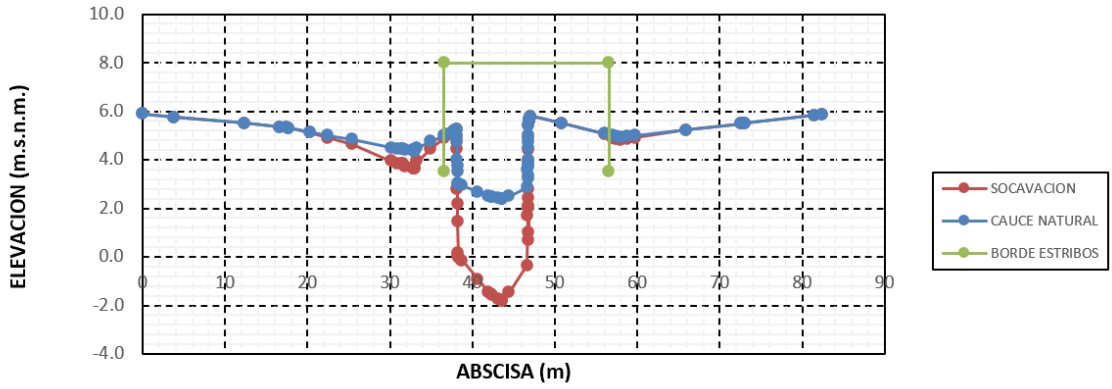
N. Max.= 5.35 m.s.n.m.

γs = 2.00 T/m3, como un promedio de los primeros estratos.

Ψ= 1.0

Con estas consideraciones la socavación general para la "sección bajo el puente inmediatamente aguas abajo", para los parámetros seleccionados se presenta en el GRAFICO No. 6.

Gráfico No. 6 PERFIL SOCAVACIÓN SECCIÓN BAJO EL PUENTE



Existe una diferencia altimétrica marcada (1.10m aproximadamente) entre la sección aguas arriba y aguas abajo del puente, lo cual aumenta el gradiente hidráulico del flujo en el trayecto; este efecto provoca elevación de la velocidad bajo el puente y consecuentemente la socavación potencial.

La ubicación de los estribos del puente está en márgenes sin presencia de agua aparentemente elimina la socavación transversal por aumento de la velocidad originada por la disminución de la sección transversal; sin embargo, por el tipo de material del lecho del cauce se puede esperar un avance lateral de la erosión del cauce. Adicionalmente, el puente se ubica al finalizar una curvatura y de alguna para es importante valorar su efecto; para ello se ha estimado un valor de socavación por curvatura en la margen derecha.

Cuadro No. 14 NIVELES POTENCIALES DE SOCAVACIÓN

UBICACIÓN	S. General	S. Curvatura	TOTAL
	Ys (m)	Yc (m)	Y (m)
CENTRO CAUCE	4.19	1.48	5.67

Estas sería la condición más crítica de socavación y estos valores deben ser medidos a partir del fondo del lecho del cauce, de manera de establecer una cota potencial de cimentación de las estructuras.

- **ENROCADO DE PROTECCIÓN DEL LECHO DEL CAUCE**

Una alternativa para controlar la socavación del cauce en el área de influencia del puente, se propone la colocación de enrocado como un sistema de protección del lecho.

Los parámetros de diseño utilizados para el cálculo de la protección del cauce son:

q : 6.99 m3/s/m
B :13.57 m
C : 0.24
S : 0.038 m/m, desnivel actual entre aguas arriba y aguas abajo del puente.
Δ : 1.49, se asume presencia de material en suspensión.
ε : 0.40
φ : 39°
Talud lateral V=1:H=3

De acuerdo con el método de Stephenson se requiere un diámetro mínimo del enrocado de fondo de 0.41 m y de los taludes 0.58 m.

Las recomendaciones para el recubrimiento del lecho del cauce son las siguientes:

- Diámetro medio de la piedra igual a 600 mm, a colocarse en una capa bajo el nivel del lecho actual del cauce.

- El área de influencia del recubrimiento debe ser al menos 3.0 m aguas arriba y 3.0 m aguas abajo de la proyección del borde del puente en el lecho del cauce, y hasta los estribos del puente.

Para la protección de las márgenes del río junto al puente se recomienda un Dm=150 mm (mínimo) y un talud del enrocado con la relación H=1.5 : V=1.0. La velocidad media considerada es de 1.30 m/s. El esquema de diseño conforme a lo presentado en la Figura No. 2 y los detalles constructivos se presentan en los planos estructurales.

9 VOLÚMENES DE OBRA

Se ha realizado una estimación de los volúmenes de obra de las diferentes estructuras que conforman las obras de arte, cuyo resumen se presenta en los ANEXO No. 1 y No. 2 de VOLUMENES DE OBRA.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los cambios climáticos están afectando al ciclo hidrológico y su mayor manifestación se presenta en el aumento de la frecuencia y magnitud de los fenómenos extremos (tormentas, inundaciones, sequias), situación que genera mayores riesgos para la infraestructura hídrica. Esto obliga a volver a evaluar la seguridad y estudiar los posibles ajustes a las obras existentes para minimizar su impacto ambiental y social, y para optimizar sus servicios.

- Es evidente que esta variabilidad climática es cada vez mayor, por lo que existe mucha incertidumbre a la hora de pronosticar su impacto a una escala geográfica y temporal menor. La estimación de los niveles de crecida en los diferentes cauces de las obras del drenaje transversal de la vía no escapa a esta problemática y se incrementa ante el complejo comportamiento de los cauces, la inexistente de información hidrometereológica en el sector y las limitaciones del levantamiento topográfico del cauce, por lo que se debe tener prudencia en la utilización de los resultados propuestos.

- Ante la limitada información hidrometereológica disponible del sector de influencia de la vía se han empleado métodos empíricos que relacionan por similitud el comportamiento de cada uno de los cauces naturales con otros de características semejantes y que tienen mejor información. Las estimaciones realizadas pretenden establecer un orden de magnitud del probable comportamiento de los cauces de cada una de las obras de drenaje.

- La red de drenaje de la vía cuenta con 8 cruces transversales de los cuales 7 son de arte menor y una de arte mayor (Puente L: 20m). Adicionalmente, se ha previsto la eliminación de 2 cruces (7+344.45 y 7+909.22) por cuanto, de acuerdo con los estudios hidráulicos, se observa que la ubicación del ducto de la alcantarilla no cumple eficientemente la función de drenaje, esto es, permitir el cruce de las aguas lluvias de una margen a otra. En estos casos su rehabilitación es innecesaria y de acuerdo con los estudios realizados el drenaje se lo ha asignado a alcantarillas contiguas.
- Se ha definido un período de retorno de retorno de 25 años para el diseño de las obras de arte menor y 100 años para los puentes. Los cálculos permiten definir

que los diámetros requeridos de algunas alcantarillas son menores al mínimo de acuerdo con las normas del MTOP; por lo tanto, se asume un diámetro de 1.20 m para esos casos, dimensión que permite facilidades de mantenimiento y, para este tipo de caminos con frecuente presencia de material de arrastre hacia la vía, el acarreo de materiales finos. En función de las necesidades de la capacidad de los ductos se ha definido la sección transversal, iniciando con las circulares de hormigón y luego con las rectangulares tipo cajón.

- De las alcantarillas existentes, 3 cumplen las necesidades de drenaje vial, por lo que se ha propuesto que sus ductos sean alargados, de manera que se acoplen al nuevo trazado vial.
- En muchos sitios el proceso de la dinámica de los cauces (erosión y sedimentación) ha creado dificultades para el tránsito de los caudales de crecida, por lo que se propone que en algunos sitios los cauces de entrada y salida a las alcantarillas sean ampliados horizontal y verticalmente; para lo cual se ha previsto la apertura de "zanjas de encauzamiento". adicionalmente, se ha recomendado en otros sitios la protección con enrocado para controlar el proceso erosivo.
- Para el puente de la abscisa 5+415, se han definido los principales parámetros de diseño hidráulico, conforme se presenta en el numeral 8.2.1 j). Adicionalmente, se ha estimado un valor de socavación total de 5.67 m en el centro del cauce, que debe ser medido a partir del fondo de lecho del río en la situación actual. Se propone como alternativa para disminuir el efecto de la socavación realizar el recubrimiento del lecho del cauce mediante piedra de diámetro medio igual a 600 mm, a colocarse en una capa de piedra ubicadas bajo el nivel del lecho actual del cauce, con un área de influencia del recubrimiento debe ser al menos 3.0 m aguas arriba y 3.0 m aguas abajo de la proyección del borde del puente en el lecho del cauce, y hasta los estribos del puente.

11 REFERENCIAS

- Aguirre J. y Flores I., "Estudio del río Guanare en sitio de paso del oleoducto Barinas- EL Palito". 1983.
- Aguirre Julián, "Hidráulica de Sedimentos". 1988.
- Cevaconsult, Geotecnia y Fiscalización, "Resultados de ensayos de laboratorio de la carretera Playas-engabao".2021.
- Chow, Ven Te, "Hidrología Aplicada", 1994.
- Downing La Riva, "Desarrollo de una metodología para evaluar riesgos, orientada al mantenimiento de estructuras hidráulicas viales y estudio de alternativas para la toma de decisiones". 1990.
- Flores, I., "Socavación local originada en flujo Torrencial", 1977.
- INAMHI, "Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Actualización del estudio de lluvias intensas". 2019.
- Maza, Álvarez. "Introduction to river Engineering". 1987.
- U.S. Departament of Transportation. "Hydraulics of Bridges Waterways". 1973.
- WL/DELF HYDRAULICS, "Review of protection designs of the Guayas Basin Pilot Project". Julio 1999.

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:					
Firmado electrónicamente por: MANUEL ESTIWARD MIRANDA CARRENO. Validar únicamente con FirmaEC		Firmado electrónicamente por: GABRIEL EDUARDO GOMEZ RUGEL. Validar únicamente con FirmaEC		Firmado electrónicamente por: JAVIER ENRIQUE CARDENAS CHILAN. Validar únicamente con FirmaEC	
Elaborado por:	Ing. Manuel Miranda	**Revisado por:**	Ing. Gabriel Eduardo Gómez Rugel	**Aprobado por:**	Ing. Javier Enrique Cárdenas Chilán
Cargo:	Especialista hidrológico - hidráulico	**Cargo:**	Subdirector de Planificación de Estudios y Proyectos	**Cargo:**	Director de Estudios y Fiscalización