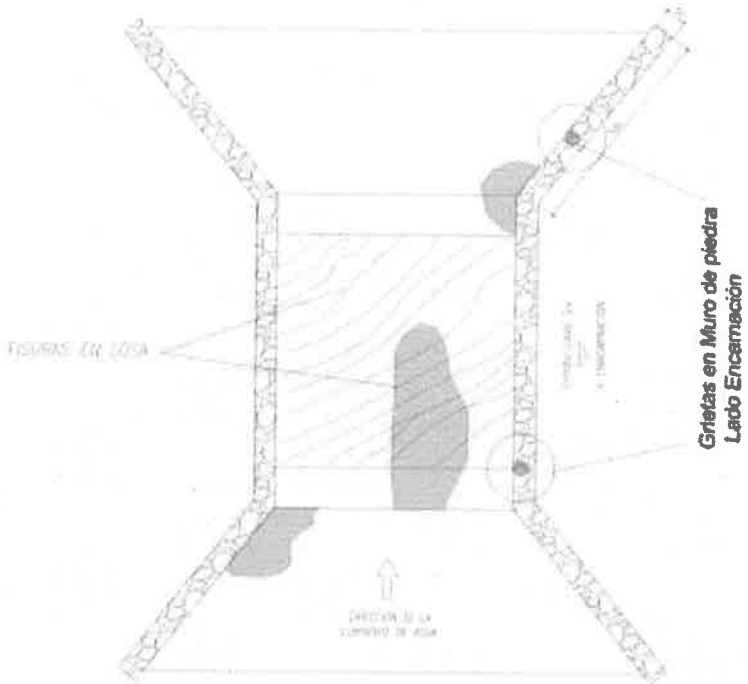
Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

PLANOS

2.2 PLANO DE DAÑOS



Ing. Casto González Pro
Supervisor de Obras
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

2.3 CAUSA DE LOS DAÑOS

Considerando los principales daños encontrados en los puentes, podemos clasificar la causa de los daños, de la siguiente forma:

a. DAÑOS RELACIONADOS A LA ACCION DEL CURSO DE AGUA

Se evidencia rotura e inclinación del muro de piedra del estribo por socavación del suelo. Tal condición origina daños en la losa del tablero del puente (Fisuras múltiples evidenciadas)

b. DAÑOS RELACIONADOS AL PROCESO CONSTRUCTIVO

Fisuras en losa de hormigón armado.

c. DAÑOS RELACIONADOS CON LA EDAD DE LA ESTRUCTURA

No se observan.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1 CONCLUSIONES

- Los daños observados en los muros del estribo, en la losa del tablero (fisuras múltiples) y en la solera tienen su origen en la socavación del lecho del cauce (desprendimiento y Erosión), y deben ser reparados a los efectos de garantizar la estabilidad de la infraestructura.

3.2 RECOMENDACIONES

- Ejecutar los trabajos de protección de la solera y de los refuerzos con estructuras de hormigón armado para la contención y calce de los estribos de piedra bruta.
- Ejecutar los trabajos de reparación de fisuras y refuerzo de la losa de la superestructura con compuesto de fibras de carbono (CFC)

SERGIO ELIAS GAVILAN MARTINEZ

Firmado digitalmente por SERGIO ELIAS GAVILAN MARTINEZ
Fecha: 2022.02.09 15:24:44 -03'00'

Ing. Casto González Fre
Supervisor de Obra
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Puente 192+424

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

INSPECCION ESTRUCTURAL DE PUENTES – RUTA 1

TRAMO Quiindy – San Juan B

Puente Prog.: 192+424

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González
Supervisor de Ob
M.O.P.C.

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

1. **INTRODUCCION**
   - 1.1 **Ubicación del puente.**
   - 1.2 **Características del puente.**
   - 1.3 **Fecha de la inspección.**

2. **INVESTIGACION DE CAMPO Y ENSAYOS**
   - 2.1 **Inspección general detallada del puente.**
   - 2.2 **Plano de daños.**
   - 2.3 **Plano de ubicación de ensayos realizados.**
   - 2.4 **Análisis de los resultados de los ensayos.**
   - 2.5 **Causa de los daños.**

3. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
   - 3.1 **Conclusiones.**
   - 3.2 **Recomendaciones.**

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay 2
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González Fr
Supervisor de Obra
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

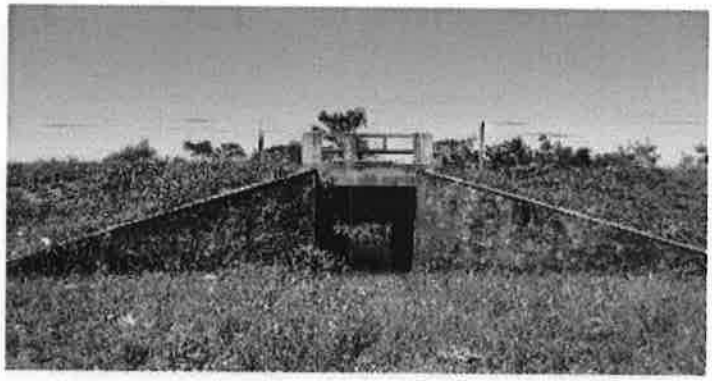
1. INTRODUCCION

1.1 UBICACIÓN DEL PUENTE

El puente P 192+424, se encuentra ubicado en el tramo de la Ruta Nacional N°1, en el km 192+424.

1.2 TIPO DE PUENTE

La longitud total del puente es de 4,00 m, con un ancho de 7m ancho, con ensanches laterales de 1,5m para banquinas. La estructura del puente es del tipo puente losa apoyada en estribos de piedra. El puente es de un único tramo.



Fotografía 1- Vista lateral del puente.

Fotografía 2. Vista bajo losa del puente. Nótese los muros de piedra.

Ing. Casto González
Supervisor de
M.Ca

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

1.3 FECHA DE INSPECCION DEL PUENTE.

La inspección se realizó el día 07 de diciembre del año 2021.

2. INVESTIGACION DE CAMPO

2.1 INVESTIGACIÓN DETALLADA DEL PUENTE

En la inspección realizada, los principales daños que fueron observados son:

- Desprendimiento de la solera y socavación bajo la misma por acción del agua..
- Fisuras en Losa.
- Fisuras verticales en estribos, en viga de asiento de losa.
- Fisuras horizontal en estribo, específicamente en el muro de piedra.

A continuación, se presentan fotos ilustrativas de algunos de los daños relevados;

Fotografía 3. Desprendimientos y socavación en solera.

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay 4
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Gavilán & Asociados
Servicios especializados de Ingeniería S.A.

Fotografía 4. Desprendimiento y socavación en solera.

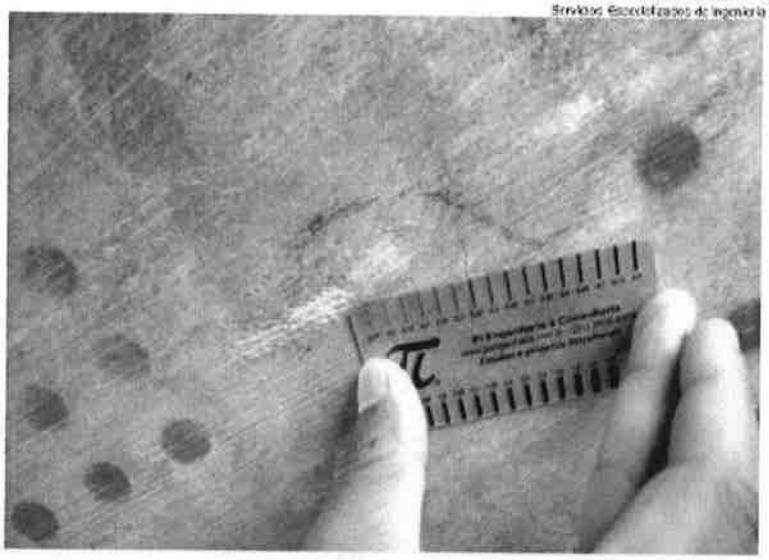
Fotografía 5. Fisura en viga de estribo.

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay 5
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González
Supervisor de O
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLI
Representante Legal

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.



Fotografía 6. Fisura en losa.

Fotografía 7. Fisura horizontal en muro de piedra.

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay 6
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González F.
Supervisor de C.
M.O.P.C

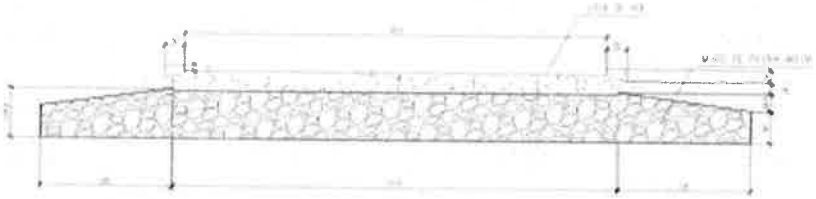
Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

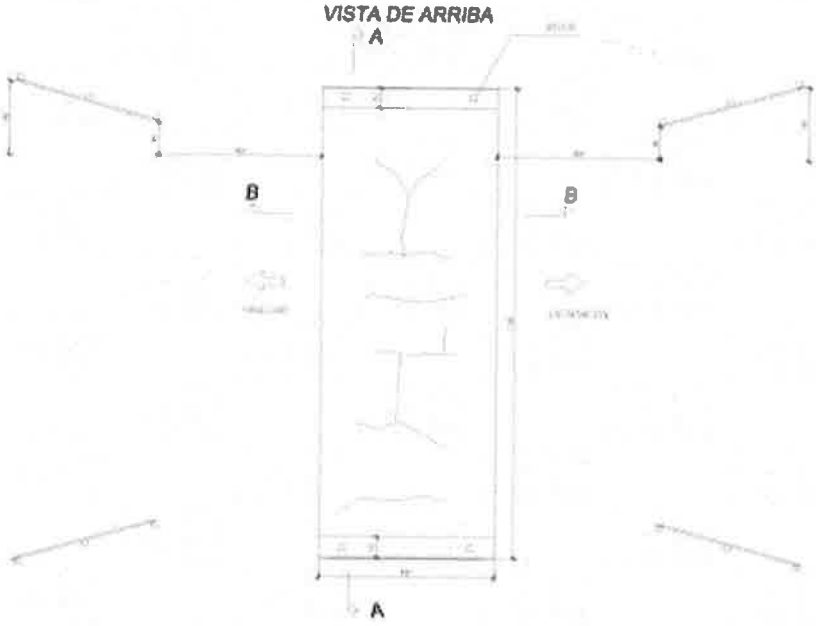
PLANOS

2.2 PLANO DE DAÑOS

VISTA D



VISTA DE ARRIBA



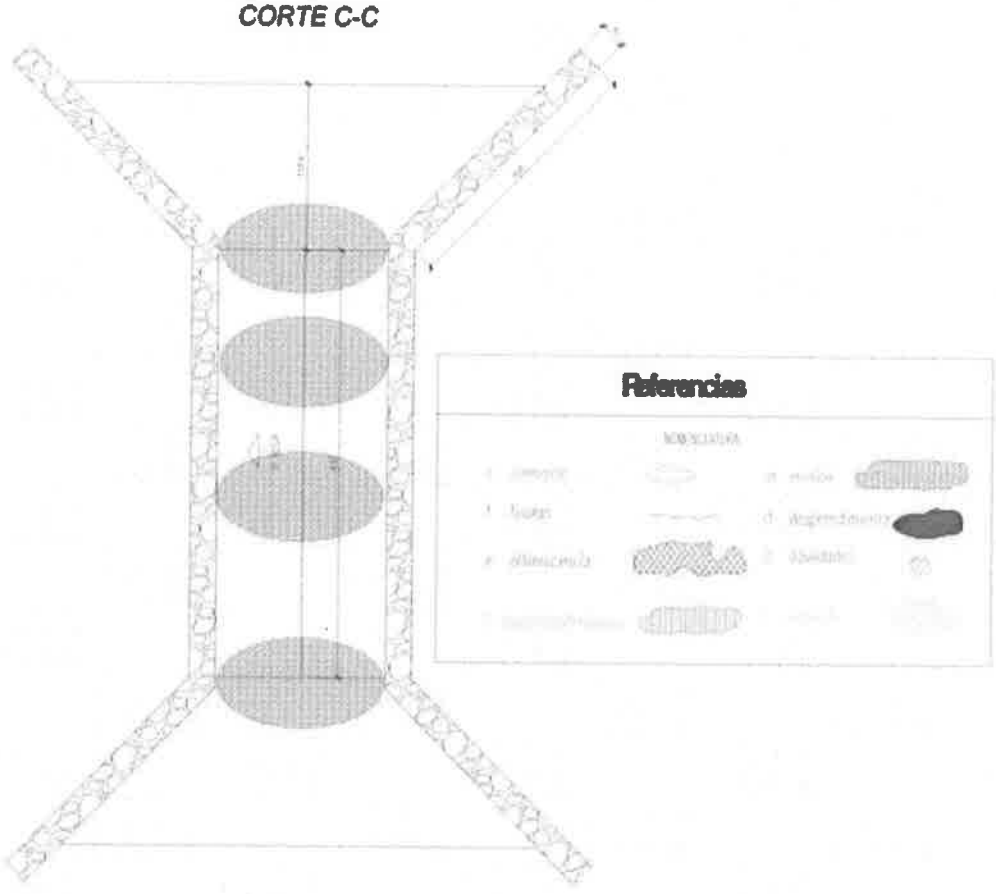
Ing. Casto González Fr
Supervisor de Obras
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

CORTE C-C



Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González
Supervisor de O.
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Gavilán & Asociados
Servicios Especializados de Ingeniería S.A.

2.3 CAUSA DE LOS DAÑOS

Considerando los principales daños encontrados en los puentes, podemos clasificar la causa de los daños, de la siguiente forma:

a. DAÑOS RELACIONADOS A LA ACCION DEL CURSO DE AGUA

Se evidencia desprendimientos de la solera y erosión de suelo bajo la misma.

b. DAÑOS RELACIONADOS AL PROCESO CONSTRUCTIVO

Fisuras en losa de hormigón armado.
Fisuras en muro de piedra y vigas de asiento de losa.

c. DAÑOS RELACIONADOS CON LA EDAD DE LA ESTRUCTURA

No se observan.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1 CONCLUSIONES

- Los daños observados en los muros del estribo, vigas y losa (fisuras), y en la solera (desprendimiento y Erosión,) deben ser reparados a los efectos de garantizar su durabilidad.

3.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar los trabajos de reparación de los daños desprendimientos, fisuras y erosión a fin de garantizar la vida útil de puente.

SERGIO ELIAS GAVILAN MARTINEZ

Firmado digitalmente por SERGIO ELIAS GAVILAN MARTINEZ
Fecha: 2022.02.09 15:28:18 -03'00'

Soldado Ovelar 1027 casi Asunción• Fernando de la Mora • Paraguay 9
Tel. (595 21) 528 179 • (0984) 727 895 • gavilanyasociados@gmail.com

Ing. Casto González
Supervisor de O
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

4.2- Estudio Hidráulico para Alcantarillas

REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS POR NIVELES DE SERVICIOS (CREMA)

Ruta Nacional PY01, Tramo: Quiindy – Villa Florida – San Juan Bautista

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

INFORME FINAL

Equipo de Trabajo

Ing. Cristian Escobar, M.Sc.

Ing. Benito Pereira, M.Sc.

Ing. Jazmín Cabrera

Cesar Yaluk

Septiembre 2021

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 1
2. CÁLCULO DE CAUDALES 4
   - 2.1 Delimitación de cuencas 4
   - 2.2 Precipitación 7
   - 2.3 Métodos Utilizados para calcular los Caudales de Diseño 8
     - 2.3.1 Método Racional 8
     - 2.3.2 Simulación Hidrológica 9
   - 2.4 Estimación de Parámetros 9
     - 2.4.1 Coeficiente de Escorrentía 9
   - 2.5 Resultados: Caudales de diseño 10
     - 2.5.1 Número de Curva y Factor de Pico 11
     - 2.5.2 Tiempo de Retardo 14
   - 2.6 Resultados: Caudales de Diseño 14
3. HIDRÁULICA 18
   - 3.1 Revisión de capacidad de alcantarillas 18
   - 3.2 Casos especiales 32
     - Obras en progresivas 138+800 y 139+700 32
     - Intersección en progresiva 135+880. 35
     - Obra en progresiva 190+923. 35
   - 3.3 Revisión de puentes 37
     - 3.3.1 Geometría del Río 37
     - 3.3.2 Coeficiente de Rugosidad 38
     - 3.3.3 Condición de Borde 38
     - 3.3.4 Resultados de la revisión 38

Ing. Casto González Frí
Supervisor de Obras
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cuencas 10 a 100, sobre imagen satelital.....5
Figura 2 Cuencas 101 a 210, sobre imagen satelital.....5
Figura 3 Cuencas 220 a 365, sobre imagen satelital.....6
Figura 4 Cuencas 370 a 560, sobre imagen satelital.....6
Figura 5 Cuencas 570 a 740, sobre imagen satelital.....7
Figura 6 Polígonos de Thiessen para el Paraguay.....7
Figura 7 Curvas IDF de Villarrica.....8
Figura 8 Hietograma de diseño ejemplo (Duración: 3hrs, Intervalo: 5min, TR = 25 años).....10
Figura 9 Tipo de Suelo. Fuente: PRUT.....11
Figura 10 Uso de Suelo. Fuente: PRUT.....12
Figura 11 Número de Curva.....13
Figura 12 Obras existentes en tramo crítico sobre imagen satelital.....33
Figura 13 Obras principales existentes. A la izquierda la obra en la prog. 138+998, a la derecha la obra existente en la prog. 139+460.....33
Figura 14 Perfil de la simulación en Hy8 para la obra situada en la prog 138+998 (P2). Nivel de Agua por encima de la calzada.....34
Figura 15 Curva Altura-Descarga (H-Q) para P1. En el eje Y se muestra la cota de agua, en el eje X el caudal de descarga.....34
Figura 16 Perfil de la simulación en Hy8 para la obra (P2) con ACT 1,00 x 1,00 adicional.....34
Figura 17 Esquema de baden y zanja de coronamiento propuesto.....35
Figura 18. Imágenes del relevamiento, de la cárcava formada aguas debajo de la obra existente.....36
Figura 19. Imagen satelital de la cuenca delimitada, donde también puede observarse la cárcava formada aguas abajo.....36
Figura 20 Criterio para la ubicación de secciones transversales aguas arriba y aguas abajo de un puente. Extraída del Documento TP-151, del Manual del HEC RAS.....38
Figura 21 Sección transversal del Puente de 12 m existente en la Prog. 122+404.....39
Figura 22 Perfil Longitudinal del Puente de 12 m existente en la Prog. 122+404.....40
Figura 23 Sección transversal del Puente de 18 m existente en la Prog. 135.+300.....41
Figura 24 Perfil Longitudinal del Puente de 18 m existente en la Prog. 135+300.....41
Figura 25 Sección transversal del Puente de 12 m existente en la Prog. 136+096.....42
Figura 26 Perfil Longitudinal del Puente de 12 m existente en la Prog. 136+096.....43
Figura 27 Sección transversal del Puente de 16 m existente en la Prog. 144+926 (sección compuesta con otros puentes).....44
Figura 28 Perfil Longitudinal del Puente de 16 m existente en la Prog. 144+926.....44
Figura 29 Obra 112+700 (cuenca 10), caudal obtenido para un TR = 50 años.....47
Figura 30 Obra 122+404 (cuenca 60), caudal obtenido para un TR = 100 años.....47
Figura 31 Obra 135+308 (cuenca 160), caudal obtenido para un TR = 100 años.....47
Figura 32 Obra 136+096 (cuenca 170), caudal obtenido para un TR = 100 años.....48
Figura 33 Obra 138+998 (cuenca 190), caudal obtenido para un TR = 50 años.....48
Figura 34 Obra 139+470 (cuenca 200), caudal obtenido para un TR = 50 años.....48
Figura 35 Obra 143+063 (cuenca 210), caudal obtenido para un TR = 50 años.....49
Figura 36 Obra 144+926 (cuenca 220), caudal obtenido para un TR = 100 años.....49
Figura 37 Obra 151+126 (cuenca 270), caudal obtenido para un TR = 50 años.....49
Figura 38 Obra 153+623 (cuenca 300), caudal obtenido para un TR = 50 años.....50
Figura 39 Obra 181+786 (cuenca 610), caudal obtenido para un TR = 50 años.....50
Figura 40 Obra 188+217 (cuenca 660), caudal obtenido para un TR = 50 años.....50

Ing. Casto González
Supervisor de Ob
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Figura 41 Obra 192+295 (cuenca 690), caudal obtenido para un TR = 50 años.....51

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Criterios utilizados en la actualidad para la selección del Tiempo de Retorno (MCP, rev 2019) 1
Tabla 2 Intervenciones propuestas en alcantarillas 2
Tabla 2 Intervenciones propuestas en puentes 3
Tabla 2 Otras intervenciones 3
Tabla 3 Métodos de cálculo utilizados 9
Tabla 4 Criterios para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía 9
Tabla 5 Número de Curva según el cruce de Tipo y Uso de Suelo 12
Tabla 6 Criterio para selección del Factor de Pico 13
Tabla 7 Caudales de diseño estimados por método racional 14
Tabla 8 Caudales de diseño estimados por simulación hidrológica en HEC-HMS 16
Tabla 9 Revisión de obras de arte del tramo Quindy – SJB 19
Tabla 10 Obras de arte existentes en el tramo crítico 32
Tabla 11 Resumen de resultados hidrológicos obtenidos para esta zona 33
Tabla 12. Resumen de parámetros de obra 135+880 35
Tabla 13. Resumen de parámetros de obra 190+923 36
Tabla 14 Resumen de cálculo de puentes 39
Tabla 15 Resultados obtenidos de en la simulación hidráulica del puente de 12 m existente en la Prog. 122+404 40
Tabla 16 Resultados obtenidos de en la simulación hidráulica del puente de 18 m existente en la Prog. 135+300 42
Tabla 17 Resultados obtenidos de la simulación hidráulica del puente de 12 m existente en la Prog. 136+096 43
Tabla 18 Resultados obtenidos de en la simulación hidráulica del puente de 16 m existente en la Prog. 144+926 45

Ing. Casto González
Supervisor de O
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se constituye en el informe final de los estudios hidrológicos e hidráulicos elaborados en el marco del proyecto de ***Obras de rehabilitación y mantenimiento (CREMA) "Ruta Nacional PY01 del tramo Quindy - Villa Florida - San Juan Bautista"***.

El estudio hidrológico tiene como fin la determinación de caudales, mientras que en el estudio hidráulico se analiza la capacidad que tiene una obra de arte de evacuar el caudal calculado, y el nivel de agua asociado a este caudal. El caudal obtenido en hidrología, denominado "caudal de diseño", se encuentra en función del Periodo de Recurrencia (Tr) adoptado. Anteriormente se acostumbra a utilizar Tr menores; por ejemplo, para el diseño de alcantarillas se utilizaba Tr = 25 años, y para diseño de puentes, Tr = 100 años. En la actualidad se utilizan Tr mayores, tal como se muestra en la Tabla 1, lo cual implica mayor caudal de diseño y consiguientemente, mayor dimensión de obras.

Tabla 1 Criterios utilizados en la actualidad para la selección del Tiempo de Retorno (MCP, rev 2019)

Tipo de obra	Tipo de Ruta	Periodo de Retorno (años)			Riesgo de Falla (%)	
		Diseño[1]	Verificación[1]		Diseño	Verificación
Estructuras Especiales [2]	RVP	200	300	50	22	15
Puentes[2]	α	200	300			15
	β	100	150			28
Alcantarillas (S>1.75 m^2) o H_{terr} ≥ 10 m y Estructuras Enterradas[3]	α	100	150	50	40	28
	β	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m^2)			100			40
			50			45
Defensas de Riberas	α	100	-	20	18	-
	β	100	-	20	18	-

Tabla 1: Periodos de retorno para diseño

Por lo anteriormente expuesto, se espera que una cantidad significativa de obras de arte "no verifique" la normativa vigente. Ahora, es importante recordar que en muchas ocasiones una obra de arte puede "no verificar" la normativa, sin presentar una situación de riesgo importante para la infraestructura o la seguridad vial. En la Tabla 2 se muestra el criterio recomendado por el MCP para el diseño de obras de arte; para el caso de alcantarillas celulares en cauces naturales, por ejemplo, el MCP permite un nivel de aguas máximas de 0,30 m por encima de la altura de la alcantarilla. Este criterio es aplicable al diseño de obras de arte nuevas, pero el MCP no hace referencia a verificaciones en obras existentes que hayan sido diseñadas bajo normativas anteriores, como es el caso de Ruta PY01. Por lo tanto, en el presente estudio, por un lado, se comprueba si la obra de arte "verifica" los criterios de la tabla 2 abajo, y por otro lado, se analiza si la situación que pudiese generarse representa o no una situación de riesgo. En muchos casos como son las zonas de planicies inundables extensas con terraplenes elevados, el hecho de que el nivel de aguas máximas se encuentre por encima del nivel de la alcantarilla no supone un problema mayor siempre y cuando se tenga un resguardo entre el nivel de aguas máximas y el Sobre-ancho de Plataforma (SAP).

Ing. Casto González Fre
Supervisor de O
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

TABLA 3_1 a CARGA HIDRÁULICA DE DISEÑO (He, m)

Tipo de Cauces	Tubos	Cajones	Losas (L≤6,0 m)*
Canales	D (diámetro)	H (altura total)	H – 0,10 m
Diseño Cauces Naturales	D + 0,3 m	H + 0,3 m	H – 0,10 m
Verificación Cauces Naturales	D + 0,6 m	H + 0,3 m	H
	He máximo no puede sobrepasar la cota exterior del SAP – 0,3 m		

*Si L > 6,0 m revancha como en Puentes.

En base a lo anterior, el criterio general adoptado para el presente trabajo es el siguiente:

A) Se realizan todos los cálculos hidrológicos e hidráulicos para determinar si las obras de arte existentes verifican hidráulicamente la normativa vigente (MCP 2019).

B) En caso de que una obra de arte existente no verifique, se analizan las conclusiones del relevamiento estructural realizado por la contratista.

B.1) En los casos donde la situación estructural de la obra amerita un reemplazo, se propone una dimensión de obra de arte que verifique los criterios actuales del MCP.

B.2) En los casos donde las obras de arte se encuentran en buen estado estructural, se analiza la situación de riesgo o peor escenario que podría darse debido a que la obra de arte existente no verifica. Por ejemplo, tal como se explicó más arriba, si la obra de arte se encuentra en una planicie inundable de escasa pendiente y con terraplén elevado, con nivel de agua por debajo del SAP, no se recomiendan acciones inmediatas. Por otro lado, si se identifica una insuficiencia de sección importante que podría producir nivel de agua elevado y eventual sobrepaso, se recomiendan acciones inmediatas.

Es importante mencionar que, en un estudio anterior para este tramo, realizado por el Consorcio Central Consultant Inc (2008) se estimaron caudales más bajos que los expuestos en la presente memoria. Esto se debe a dos factores:

a. Utilización de periodos de retorno de 5 y 10 años para verificar las alcantarillas.
b. Se utilizó un coeficiente de escorrentía de 0.28, el cual se considera bajo para las características del terreno en muchas de las cuencas de aporte.

En el marco de este estudio, las obras que se recomiendan intervenir se muestran en la siguiente tabla. En los demás capítulos se muestran todos los cálculos respectivos.

Tabla 2 Intervenciones propuestas en alcantarillas

Progresiva	Intervención Recomendada
115+967	Reemplazar por AT1 0.8 m
119+140	Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
125+375	Reemplazar por AT2 1.0 m
127+005	Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
128+792	Reemplazar por AT1 1.0 m

2

Ing. Casto González F...
Supervisor de Ob...
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Progresiva	Intervención Recomendada
129+687	Reemplazar por AT1 1.0 m
130+830	Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
133+220	Reemplazar por una AT1 1.0
134+458	Reemplazar por una AT1 1.0
135+991	Reemplazar por una AT1 1.0
139+610	Reemplazar la obra por una AC3 1.0 x 1.0
148+835	Reemplazar por AT1 0.8
152+289	Reemplazar por AC2 1.5 x 1.5 m
155+144	Reemplazar por AC3 1.0 x 1.0 m
179+425	Agregar 3 AC3 1,0 x 1,0 m distribuidas a lo largo de la planicie de inundación (800 metros de planicie).
190+923	Reemplazar por una ATS 0.8 m (ver el apartado de casos especiales)

Tabla 3 Acciones propuestas en puentes

Progresiva	Acción Recomendada
122+404	Monitoreo permanente del mismo para identificar tempranamente rastros de socavación.
135+300	Monitoreo permanente del mismo para identificar tempranamente rastros de socavación.
136+096	Monitoreo permanente del mismo para identificar tempranamente rastros de socavación.
144+926	Monitoreo permanente del mismo para identificar tempranamente rastros de socavación.

Tabla 4 Otras intervenciones recomendadas

Progresiva	Intervención Recomendada
135+880	Incorporar un baden sobre la calle transversal a la ruta PY01, e incorporar una zanja de coronamiento para la conducción de las aguas que llegan. (ver el apartado de casos especiales)
138+998	Conformar un canal tipo embocadura, con una berma que permita elevar el N.A. (ver detalle en el apartado de casos especiales)
152+770	Protección del lecho contra erosión en la descarga (Enrocado u otra estructura flexible)
155+482	Protección del lecho contra erosión en la descarga (Enrocado u otra estructura flexible)
173+976	Protección del lecho contra erosión en la descarga (Enrocado u otra estructura flexible)
196+231	Protección del lecho contra erosión en la descarga (Enrocado u otra estructura flexible)

Ing. Casto González Fr
Supervisor de Ob
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

2. CÁLCULO DE CAUDALES

Para el cálculo de caudales, se propone la siguiente metodología:

a. Preparación de cartografía del área de estudio:

   1) Incorporación de planos de topografía sobre mapa base del área, el cual consiste en datos de Estadísticas y Censo (DGEEC) y ortofotocartas escala 1:25.000 con datos de elevación digital (DEM, SRTM con grilla de 90 m).

   2) Identificación de puntos críticos en relevamiento topográfico, como ser: coordenadas y cotas de alcantarillas existentes, puntos de divisoria de aguas, zonas altas y bajas, de cambio de pendiente; límites de calles y progresivas.

   3) Utilización de imágenes georreferenciadas de Google Earth para la determinación de usos de suelo.

b. Se utiliza la curva IDF de Ciudad del Este desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la UNA/DINAC actualizada al año 2009 por Cuevas-Rolón (2010), para la selección de la intensidad de precipitación.

c. Cálculo de caudales para cada obra (alcantarilla o puente). En las cuencas menores a 2 km² se calcula el caudal mediante el Método Racional, mientras que para las cuencas superiores a 2 km² se utiliza el método del hidrograma unitario del SCS.

2.1 Delimitación de cuencas

La determinación de los caudales a cada una de las obras de drenaje del proyecto requiere la correcta delimitación de las cuencas de aporte. En el área de estudio se han delimitado cuencas en base a:

a. Modelo Digital de Elevación SRTM (resolución de 90 x 90 m).
b. Relevamiento topográfico provisto por la consultora.

Esta delimitación se puede ver en las siguientes figuras:

Ing. Casto González Fr...
Supervisor de Ob...
M.O.P.C.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

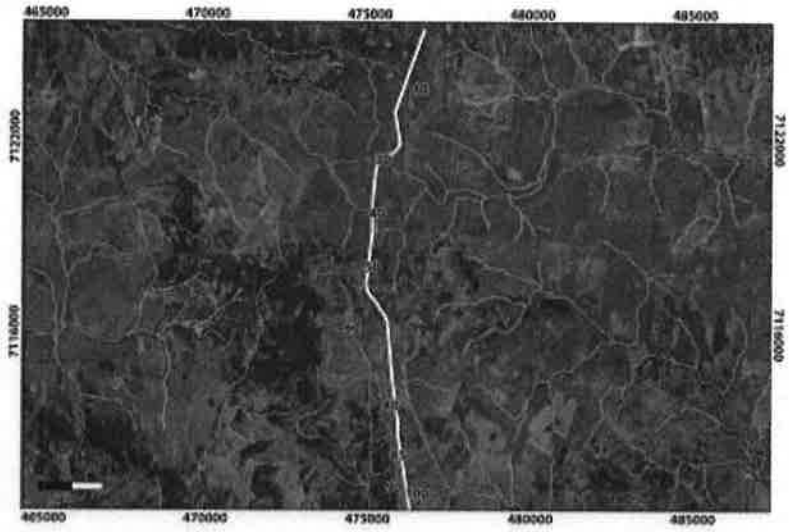


Figura 1 Cuencas 10 a 100, sobre imagen satelital.

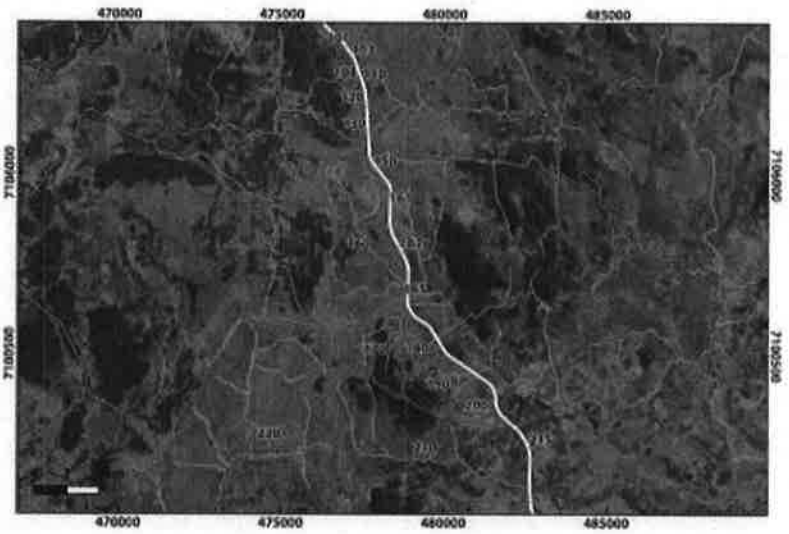


Figura 2 Cuencas 101 a 210, sobre imagen satelital.

5

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

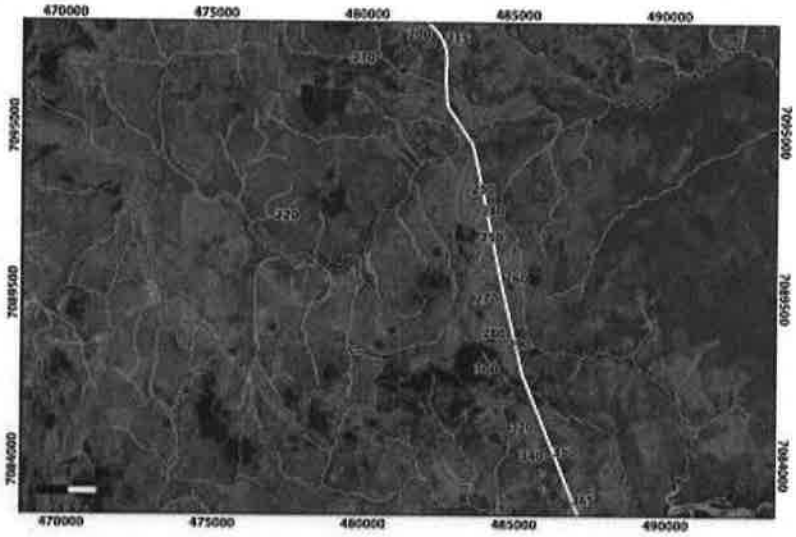


Figura 3 Cuencas 220 a 365, sobre imagen satelital.

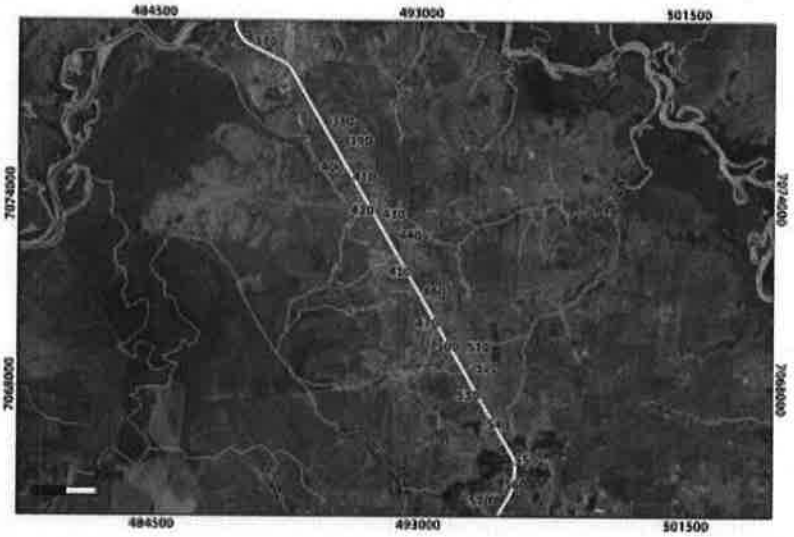


Figura 4 Cuencas 370 a 560, sobre imagen satelital.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMATRUTA 1

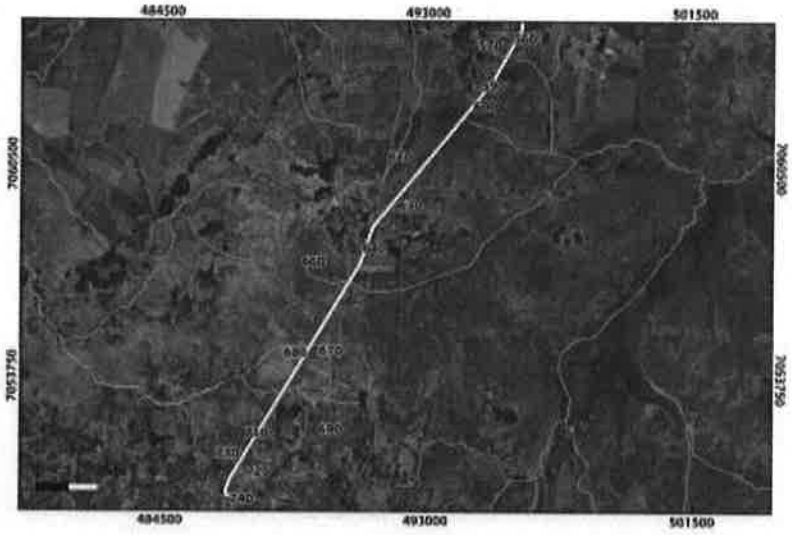


Figura 5 Cuencas 570 a 740, sobre imagen satelital.

2.2 Precipitación

La Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH), dependiente de la Dirección de Aeronáutica Civil (DINAC), es la encargada de llevar registros históricos de precipitación a nivel nacional. Realizando un análisis espacial de Polígonos de Thiessen, se observa que la estación Villarrica representa la totalidad del tramo de estudio, tal como se muestra en la Figura 6.

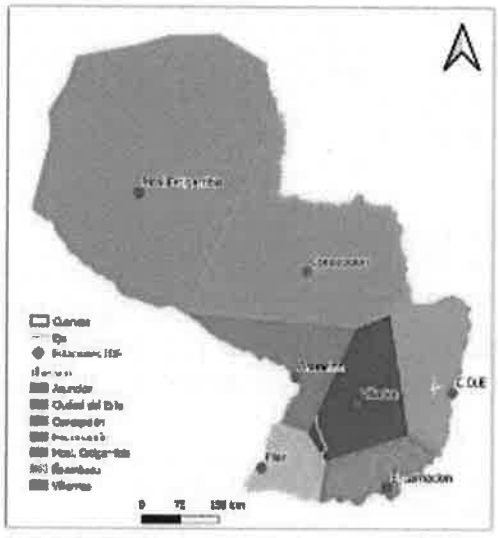


Figura 6 Polígonos de Thiessen para el Paraguay

7

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Para la generación de las tormentas sintéticas se utiliza como información base las Curvas IDF del Paraguay (Cuevas & Rolón, 2010), específicamente las generadas en la estación de Villarrica, tal como se muestra en la Figura 7.

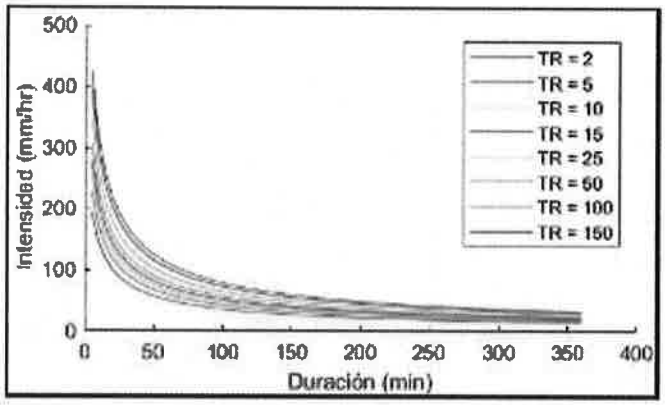


Figura 7 Curvas IDF de Villarrica

Una limitación de estas curvas es que fueron diseñadas con lluvias de hasta 6 horas (360 min). Entre las cuencas delimitadas para los tramos de estudio existe solo una cuenca para la cual se requiere una duración de tormenta mayor (12 horas). Para este caso, se determina la tormenta de 1 día de duración asociado a los periodos de recurrencia de diseño. El valor de intensidad para 12 horas de duración se obtiene por interpolación no lineal entre el valor de intensidad de 6 horas y 1 día.

2.3 Métodos Utilizados para calcular los Caudales de Diseño

De manera general, para el cálculo de caudales de diseño se utilizan métodos que buscan representar las pérdidas iniciales o abstracciones de la precipitación total caída. Luego se utiliza algún método que permita transformar la lluvia efectiva en escorrentía directa y, por último, si corresponde, se utiliza algún método de propagación de caudal hasta el punto de descarga.

2.3.1 Método Racional

Es un método empírico, pero de amplio uso tanto en proyectos viales como de hidrología urbana. El mismo posee ciertas limitaciones, y por lo tanto se limita su aplicación a cuencas pequeñas, de áreas no mayores a 3 Km². Mediante este método, se puede calcular el caudal "Q" de escurrimiento utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = 0{,}278\, x\, C.i.A \qquad (1)$$

Donde:

C = Coeficiente de Escurrimiento.

i = Intensidad de Precipitación, de la Curva IDF, donde D = Tc, F = 1/50 años.

A = Área de la cuenca (km2).

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

2.3.2 Simulación Hidrológica

Para este caso, la estimación de los caudales de diseño se realiza con el Modelo Hidrológico HEC – HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés). Los métodos utilizados en el presente trabajo se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5 Métodos de cálculo utilizados

COMPONENTE	MÉTODO	PARÁMETROS
Precipitación	Tormenta de Frecuencia	Intensidad de Precipitación (en mm)
Pérdidas o Abstracciones y Generación de Lluvia Efectiva	Método del SCS	Número de Curva (CN) y Factor de Pico
Transformación Lluvia - Caudal	Hidrograma Unitario del SCS	Tiempo de Retardo
Propagación	Muskingum Cunge 8 Puntos	Sección Transversal Tipo, Rugosidad (n manning), endiente

Los parámetros asociados a cada cuenca (calculados en el siguiente apartado) son cargados al modelo, así como también la precipitación de diseño estimada para los distintos periodos de recurrencia.

2.4 Estimación de Parámetros

2.4.1 Coeficiente de Escorrentía

En el Método Racional, el Coeficiente C representa la porción (o proporción) de la lluvia que escurre hasta el cauce, y como tal, su valor se encuentra entre 0 (infiltración completa, nada de escurrimiento) y 1 (escurrimiento completo, nada de infiltración). Este coeficiente se encuentra tabulado para áreas urbanas donde se conoce bien el estado de las superficies, tal como asfalto, veredas, techos, etc. Para el área rural, se recomienda utilizar la metodología propuesta por el Manual de Carreteras del Paraguay (MCP); esta metodología asigna pesos a factores que inciden en el escurrimiento, tal como el relieve, tipo de cobertura, infiltración, almacenamiento, etc.

Tabla 6 Criterios para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,20-0,30 Escarpado con pendientes mayores que 50%	0,20-0,30 Zonas con pendientes entre 10 y 50%	0,14-0,20 con zonas y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 relativamente plano con pendientes menores a 5%
Infiltración	0,12-0,16 Sin intensidad, o sin base con capacidad de infiltración disponible	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena o otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura Vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o rotados, menos del 20% del área con buena cobertura	0,06-0,08 Regular o buena, 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0,04-0,06 Buena o excelente, 80% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente
Almacenamiento Superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Bajo, escasez de zonas superficiales pequeñas bien definidas, sin zonas	0,06-0,08 Normal, posibilidad de almacenamiento bueno, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos
Si T > 10 años Amplificar Resultado por: T = 25 ; C = 1,10 T = 50 ; C = 1,20 T = 100 ; C = 1,25				

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

En base al criterio de la Tabla 6, se estiman los valores correspondientes a cada factor según las características del terreno a lo largo de la traza:

Cr	Ci	Cv	Cs
0.14	0.08	0.08	0.08

Con estos valores se obtiene un Coeficiente de Escorrentía C = 0.38 para las zonas consideradas rurales.

Para las cuencas ubicadas en zona urbana, se toman como referencia los valores establecidos en la tabla 4.9 del libro Drenagem urbana (Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428). Se asume un valor de C=0.7.

2.5 Resultados: Caudales de diseño

- Método Racional

Las intensidades a ser utilizadas en el Método Racional dependen de la Duración de Tormenta (asumida igual al Tc) y del Tiempo de Retorno adoptado. Los valores de intensidad utilizados se muestran en la tabla de resultados (expuesta en apartados próximos).

- Simulación Hidrológica en HEC-HMS

Los datos solicitados por el método Frequency Storm del HEC-HMS, son las intensidades en milímetros asociadas a distintas duraciones y periodos de retorno. Las duraciones de tormenta a ser utilizadas dependen del Tiempo de Concentración (Tc) de cada cuenca, con lo cual, se asume una duración de tormenta igual o ligeramente superior al Tc.

Con estos parámetros el HEC-HMS crea los hietogramas de diseño que son utilizados en el proceso de transformación lluvia-caudal, luego de computar las abstracciones (pérdidas por infiltración). En la siguiente figura se muestra como ejemplo un hietograma generado para una duración de tormenta de 3 horas, en intervalos de tiempo de 5 minutos, para un periodo de recurrencia de 25 años.

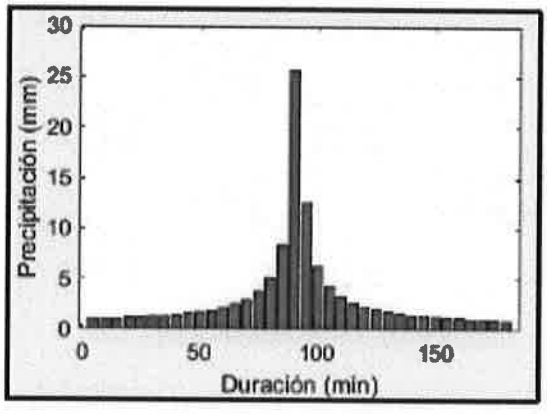


Figura 8 Hietograma de diseño ejemplo (Duración: 3hrs, Intervalo: 5min, TR = 25 años)

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

2.5.1 Número de Curva y Factor de Pico

La fuente de información de tipo de suelo en la Región Oriental del Paraguay proviene del "Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra" o PRUT (Banco Mundial & MAG-Paraguay, 1995). Allí, a partir de una serie de muestras relevadas, se clasificó taxonómicamente el suelo. Además, se definieron clases texturales, las cuales fueron utilizadas como base para elaborar un mapa de Grupos de Suelo de acuerdo al criterio mencionado en el Capítulo 7 del "National Engineering Handbook" (USDA - NRCS, 2009) tal como se muestra en la Figura 9.

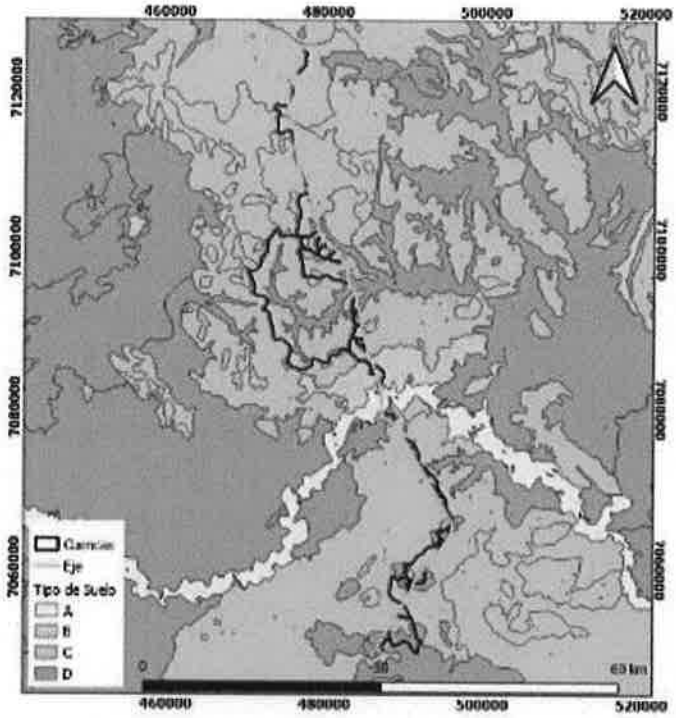


Figura 9 Tipo de Suelo. Fuente: PRUT.

Otro producto generado en el PRUT fue un mapa de uso posible de la tierra en base a las características del suelo. A partir de este mapa e imágenes satelitales se generó un mapa de uso de suelo (Figura 10), que fue reclasificado en base al criterio de Tucci (1993), tal como se muestra en la Tabla 7.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

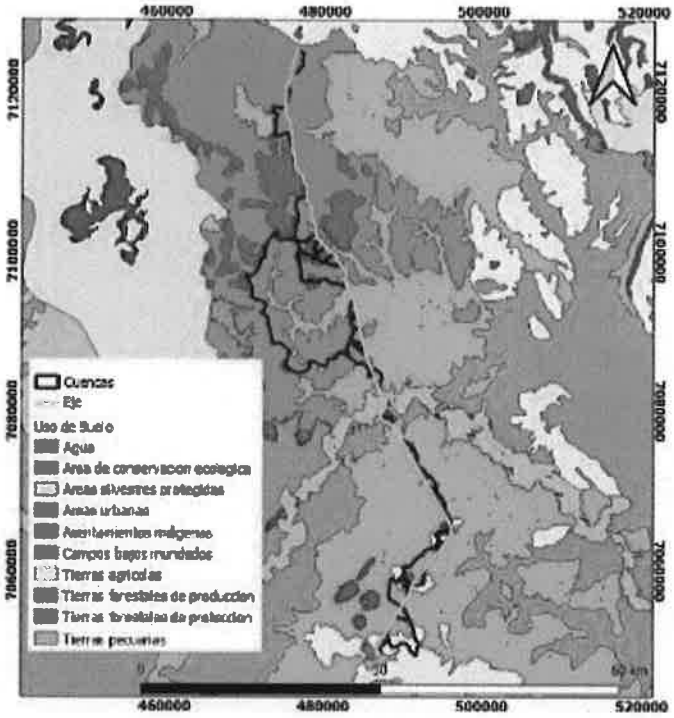


Figura 10 Uso de Suelo. Fuente: PRUT.

Tabla 7 Número de Curva según el cruce de Tipo y Uso de Suelo

USO ESTIMADO SEGÚN PRUT (Banco Mundial & MAG-Paraguay, 1995)	RECLASIFICACIÓN (Tucci, 1993)				
		A	B	C	D
Tierras Agrícolas	Plantações Regulares em fileiras retas	64	76	84	88
Tierras Pecuarias	Chácaras Normais	56	75	86	91
Tierras Forestales de Producción	Plantações Regulares em fileiras retas	64	76	84	88
Tierras Forestales de Protección	Florestas Normais	36	60	70	76
Áreas Silvestres Protegidas	Florestas Normais	36	60	70	76
Áreas de Conservación Ecológica Especial	Humedales	80	85	90	95
Campos Bajos Inundados	Humedales	80	85	90	95
Asentamientos Indígenas	Florestas Normais	36	60	70	76
Áreas Urbanas	Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Agua	Agua	100	100	100	100

A continuación, se muestra el mapa de Número de Curva (CN) obtenido del cruce del Tipo y Uso de Suelo.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

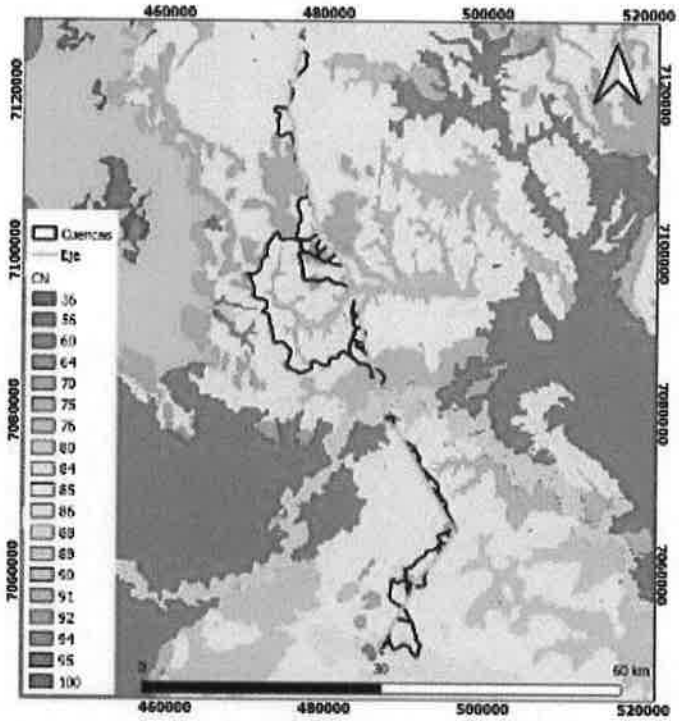


Figura 11 Número de Curva

Además del Número de Curva, otro parámetro de gran importancia para estimar hidrogramas de diseño que representen correctamente los efectos de atenuación que se pueden dar en terrenos con ciertas características de terreno como la pendiente y el grado de impermeabilización es el ***Factor de Pico***. En la siguiente tabla se muestran valores típicos asociados a cuencas con distintas características.

Tabla 8 Criterio para selección del Factor de Pico

DESCRIPCIÓN GENERAL	FACTOR DE PICO
Áreas Urbanas; Pendientes Pronunciadas	575
Valor Típico del SCS	484
Urbano/Rural Mixto	400
Rural, Colinas	300
Rural, Pendientes Leves	200
Rural, Muy Plano	100

Para este estudio, se varió el Factor de Pico de acuerdo a las características de cada cuenca.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

2.5.2 Tiempo de Retardo

Para el cálculo del Tiempo de Retardo, primero se calcula el Tiempo de Concentración de la Cuenca con alguna fórmula empírica (en este caso Kirpich Modificada) y luego se utiliza la siguiente relación para calcular el Tiempo de Retardo:

$$Tiempo\ de\ Retardo = 0{,}6\,Tc \qquad (2)$$

El tiempo de concentración de una cuenca es un parámetro necesario para la determinación del caudal, siendo utilizado en la selección de la intensidad máxima de precipitación. El mismo se encuentra en función de la pendiente media, la longitud del cauce, la forma de la cuenca, la cobertura del suelo y en menor escala de otros parámetros fisiográficos.

Existen diversas ecuaciones o metodologías para la determinación del Tc, la mayoría de los cuales fueron desarrolladas de manera empírica para cuencas específicas; por esto se recomienda tomar esta variable con cuidado, y en caso de existir información adicional, ajustar los Tc de forma a obtener caudales que coincidan con la realidad.

Siguiendo las recomendaciones establecidas en el Manual de Carreteras del Paraguay, se toma como mínimo un tiempo de concentración de 10 minutos.

Para este estudio se utiliza la ecuación de KIPICH MODIFICADA, recomendada en el manual del DNIT (Manual de Hidrología Básica para Estructuras de Drenaje, del Ministerio de Infraestructura y Transportes, Brasil), utilizando la siguiente fórmula:

$$T_c = 1{,}42 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \qquad (3)$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración, en horas.
L = longitud del curso de agua, en km.
H = desnivel máximo, en m.

2.6 Resultados: Caudales de Diseño

Aplicando los métodos de cálculo expuestos en los apartados anteriores, se generan caudales de diseño para distintos periodos de recurrencia, tal como se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9 Caudales de diseño estimados por método racional

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (ha)	Coeficiente C	Tc (Kirpich modif.) (hr)	Estación IDF	I50 (mm/hr)	Q50 (m3/s)
30	261	5.12	2.4	0.41	0.17	Villarrica	260.67	0.7
40	875	2.59	55.6	0.37	0.37	Villarrica	170.87	9.8
50	397	1.05	8.2	0.35	0.28	Villarrica	198.19	1.6
80	862	2.42	36.4	0.36	0.37	Villarrica	169.37	6.2
85	648	1.94	13.2	0.35	0.32	Villarrica	183.25	2.4

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (ha)	Coeficiente C	Tc (Kirpich modif.) (hr)	Estación IDF	I50 (mm/hr)	Q50 (m3/s)
90	546	2.87	11.8	0.37	0.24	Villarrica	214.31	2.6
100	339	1.16	5.5	0.35	0.24	Villarrica	216.56	1.2
101	894	1.69	11.9	0.35	0.44	Villarrica	153.35	1.8
103	240	1.18	1.6	0.35	0.18	Villarrica	249.16	0.4
104	326	1.53	2.8	0.35	0.21	Villarrica	232.46	0.6
110	362	0.99	5.4	0.34	0.27	Villarrica	203.93	1.0
120	348	0.78	6.5	0.28	0.29	Villarrica	196.70	1.0
130	393	0.67	3.4	0.34	0.33	Villarrica	180.55	0.6
140	215	1.18	2.9	0.33	0.17	Villarrica	259.57	0.7
145	338	1.50	8.0	0.31	0.22	Villarrica	228.22	1.6
150	200	1.15	6.5	0.35	0.16	Villarrica	265.42	1.7
155	218	0.42	1.7	0.34	0.25	Villarrica	210.05	0.3
161	1224	1.99	9.2	0.35	0.52	Villarrica	137.38	1.2
162	829	2.82	6.4	0.37	0.34	Villarrica	178.47	1.2
165	506	4.46	10.9	0.40	0.19	Villarrica	241.44	2.9
175	381	4.43	4.7	0.40	0.16	Villarrica	268.21	1.4
180	1280	7.12	140.4	0.44	0.33	Villarrica	180.73	31.0
215	141	0.21	0.5	0.34	0.24	Villarrica	218.25	0.1
230	1729	4.28	115.0	0.40	0.51	Villarrica	139.91	17.9
240	715	4.28	24.6	0.40	0.26	Villarrica	208.19	5.7
250	1495	3.02	119.7	0.38	0.52	Villarrica	137.96	17.4
255	328	5.55	10.6	0.42	0.17	Villarrica	260.67	3.2
260	626	10.19	13.3	0.44	0.17	Villarrica	260.49	4.2
280	973	4.34	76.5	0.40	0.33	Villarrica	182.83	15.5
290	774	3.22	36.5	0.38	0.31	Villarrica	189.33	7.3
310	332	2.61	7.7	0.37	0.17	Villarrica	255.91	2.0
320	789	2.49	22.1	0.36	0.34	Villarrica	177.42	3.9
330	471	1.90	10.5	0.35	0.26	Villarrica	209.20	2.1
340	751	1.25	28.0	0.35	0.43	Villarrica	154.95	4.2
350	1667	1.11	140.6	0.35	0.83	Villarrica	102.21	14.0
360	206	1.76	5.9	0.35	0.17	Villarrica	260.67	1.5
365	325	1.05	5.6	0.35	0.24	Villarrica	215.63	1.2
370	829	0.73	92.3	0.34	0.57	Villarrica	130.24	11.4
380	534	0.59	19.4	0.34	0.44	Villarrica	152.74	2.8
390	1144	0.59	56.6	0.34	0.79	Villarrica	105.51	5.6
400	151	0.32	2.3	0.34	0.21	Villarrica	231.45	0.5
410	1233	0.62	88.9	0.34	0.83	Villarrica	102.81	8.6
420	476	1.35	23.3	0.35	0.29	Villarrica	193.74	4.4
430	433	0.24	11.5	0.34	0.53	Villarrica	135.79	1.5
440	854	0.54	43.8	0.34	0.66	Villarrica	119.29	4.9
450	814	0.49	35.3	0.34	0.66	Villarrica	118.97	4.0

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (ha)	Coeficiente C	Tc (Kirpich modif.) (hr)	Estación IDF	I50 (mm/hr)	Q50 (m3/s)
460	1256	1.01	136.2	0.35	0.69	Villarrica	115.06	15.2
470	985	0.79	18.6	0.34	0.63	Villarrica	122.22	2.1
480	665	1.00	16.1	0.35	0.43	Villarrica	155.87	2.4
490	495	1.04	26.0	0.35	0.34	Villarrica	179.83	4.5
500	645	1.23	31.7	0.35	0.39	Villarrica	165.77	5.1
510	592	1.04	12.7	0.35	0.39	Villarrica	165.73	2.0
520	957	1.13	58.5	0.35	0.54	Villarrica	135.06	7.7
530	583	1.28	29.6	0.35	0.35	Villarrica	175.17	5.0
540	1229	2.41	52.4	0.36	0.49	Villarrica	143.49	7.5
550	384	3.50	5.8	0.38	0.17	Villarrica	256.07	1.6
560	752	3.65	42.3	0.39	0.29	Villarrica	197.01	9.0
570	1575	1.19	153.8	0.35	0.78	Villarrica	106.98	16.0
580	320	4.69	6.1	0.40	0.17	Villarrica	260.67	1.8
590	1178	2.65	52.1	0.37	0.46	Villarrica	149.75	8.0
600	822	2.22	17.4	0.36	0.37	Villarrica	169.76	3.0
630	2450	1.68	137.9	0.35	0.96	Villarrica	93.38	12.5
640	1114	4.45	26.8	0.40	0.36	Villarrica	173.08	5.2
650	1602	3.13	57.2	0.38	0.54	Villarrica	134.61	8.1
670	1630	0.67	153.2	0.34	1.00	Villarrica	90.91	13.2
680	316	0.51	4.9	0.34	0.31	Villarrica	187.19	0.9
710	1089	2.87	55.5	0.37	0.42	Villarrica	158.30	9.0
720	1367	1.54	50.6	0.35	0.63	Villarrica	122.36	6.0
730	144	1.36	2.0	0.35	0.17	Villarrica	260.67	0.5
740	192	2.16	6.6	0.36	0.17	Villarrica	260.67	1.7
750	388	3.07	9.7	0.38	0.18	Villarrica	248.78	2.5

Tabla 10 Caudales de diseño estimados por simulación hidrológica en HEC-HMS

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (km2)	CN	Tc (Kirpich modif.) (hr)	TLag (min)	Factor de Pico	Estación IDF	TR (años)	Q (m3/s)
10	1522	1.23	2.58	84	0.75	27	150	Villarrica	50	17
60	4233	1.27	5.93	84	1.62	58	150	Villarrica	100	31
160	5515	1.27	10.73	84	1.99	71	150	Villarrica	100	48
170	2540	3.00	4.18	76	0.79	28	200	Villarrica	100	30
190	2423	6.81	2.61	75	0.72	26	200	Villarrica	50	15
200	1324	3.74	1.54	85	0.44	16	200	Villarrica	50	20
210	7618	1.15	15.75	81	2.65	95	150	Villarrica	50	48
220	21110	0.17	132.21	85	12.07	435	100	Villarrica	100	100
270	1895	2.33	2.06	84	0.69	25	200	Villarrica	50	19
300	3711	2.23	4.61	83	1.18	42	200	Villarrica	50	33

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (km2)	CN	Tc (Kirpich modif.) (hr)	TLag (min)	Factor de Pico	Estación IDF	TR (años)	Q (m3/s)
610	4850	1.13	8.21	84	1.88	68	150	Villarrica	50	32
660	3350	0.59	6.23	84	1.82	66	150	Villarrica	50	25
690	4681	0.93	11.28	87	1.98	71	150	Villarrica	50	45

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

3. HIDRÁULICA

3.1 Revisión de capacidad de alcantarillas

La revisión de las alcantarillas se realiza considerando los caudales obtenidos en el capítulo anterior. Existen diversos métodos para determinar la capacidad de alcantarillas, y cada uno depende de las características del sitio de emplazamiento.

Para el presente proyecto se utiliza como base la metodología descrita en el *Manual de Drenagem de Rodovias*, del Departamento de Transporte de Brasil (DNIT), la cual no es incompatible con la metodología descrita en el Manual de Carreteras del Paraguay. En el mismo, se mencionan las posibles situaciones de diseño:

a.1 Como canal
- Régimen subcrítico.
- Régimen supercrítico.

a.2 Como vertedero u orificio

En base a la topografía del sitio de emplazamiento, se opta por la opción a.2, diseño como canal en régimen supercrítico. Esto es posible porque las pendientes del área de estudio son iguales o superiores a la pendiente mínima requerida para esta situación (pendiente crítica). Para situaciones muy particulares, como el caso donde el cauce es muy pronunciado y profundo en relación a la rasante a ser adoptada, la alcantarilla puede ser diseñada como orificio, permitiendo a la misma trabajar sumergida y con carga hidráulica (hasta 30 cm), teniendo en cuenta lo especificado en el *Manual de Carreteras del Paraguay*.

Con los caudales de diseño obtenidos, se evalúan si las dimensiones de las obras de arte existentes son adecuadas. Para definir las acciones a tomar sobre cada obra, se utilizó el siguiente criterio:

C) Se evaluó si las obras de arte verifican hidráulicamente a los requerimientos del MCP (2019).

D) En caso de que una obra no verifique, se analizaron las conclusiones del relevamiento estructural realizado por el contratista.

B.1) En aquellos casos donde la conclusión resultaba en un reemplazo de obra, se propone una obra que verifique hidráulicamente a los criterios del MCP (2019).

B.2) En aquellos casos donde las obras de arte se encuentran en buen estado estructural, se procedió a analizar si la obra podría causar una retención de agua que signifique un peligro significativo de sobre-paso de terraplén.

El análisis realizado se muestra en la siguiente tabla.

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Tabla 11 Revisión de obras de arte del tramo Quindy – SJB

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
112+355	10	AT1 0,60	17	0.37	36.23	si		
112+625		AT1 0,80		0.79				
112+700		AT2 2,00		17.35				
112+750		AT1 0,60		0.37				
112+868		AT2 2,00		17.35				
115+967	30	AT1 0,50	0.7	0.23	0.23	no		Reemplazar por AT1 0.8 m
116+752	40	AT1 0,80	9.8	0.79	32.98	si		
116+840		AT1 0,60		0.37				
117+295		AT2 2,50		31.45				
118+500		AT1 0,60		0.37				
119+140	50	AT1 0,60	1.6	0.37	0.37	no		Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
121+580	60	AT1 0,60	31	0.37	89.91	si		
122+400		Pontillón 10 m		89.54				
123+070	80	AT1 0,60	6.2	0.37	1.53	no	No se espera sobre paso debido a extensa planicie de inundación	No requiere intervención actualmente.
123+136		AT1 0,80		0.79				
123+755		AT1 0,60		0.37				

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA 1

- 250 - -Doscientos cincuenta -

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
125+375	90	AT1 0,50	2.6	0.23	0.6	no		Reemplazar por AT2 1.0 m
125+605		AT1 0,60		0.37				
126+555	100	AT1 0,70	1.2	0.56	0.56	si	Obra en pendiente, el agua no captada sigue aguas abajo para ser evacuada por otra obra.	
127+005	101	AT1 1,00	1.8	1.44	1.44	no		Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
127+495	obra de paso	AT1 0,60	--	0.37	2.64	si		
127+975	103	AT1 0,50	0.4	0.23	0.23	no	El caudal es bajo, por lo que, si bien la obra trabajaría en carga, no se espera sobrepaso por encima de la ruta.	
128+175	104	AT1 0,50	0.6	0.23	0.23	no	El caudal es bajo, por lo que, si bien la obra trabajaría en carga, no se espera sobrepaso por encima de la ruta.	
128+792	110	AT1 0,60	1	0.37	0.37	no		Reemplazar por AT1 1.0 m
129+687	120	AT1 1,00	1	1.44	1.44	si		Reemplazar por AT1 1.0 m
129+910	130	AT1 0,50	0.6	0.23	0.46	no	El caudal es bajo, y se tiene casi 1.5 m de altura de terraplén, por lo que no se	
130+119		AT1 0,50		0.23				

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
							espera sobrepaso por encima de la ruta.	
130+567	140	AT1 0,90	0.7	1.09	1.09	si		
130+830	145	AT1 0,50	1.6	0.23	0.23	no		Reemplazar por AC1 1.0 x 1.0 m
131+130	obra de paso	AT1 0,50	-	0.23	2.64	si		
131+285	150	AT1 0,60	1.7	0.37	1.81	si		
131+485		AT1 1,00		1.44				
131+850	155	AT1 0,60	0.3	0.37	0.74	si		
131+877		AT1 0,60		0.37				
133+220	161	AT1 0,50	1.2	0.23	0.23	no		Reemplazar por una AT1 1.0
133+900	162	AT1 0,50	1.2	0.23	0.69	no		
134+155		AT1 0,50		0.23				
134+458		AT1 0,50		0.23				Reemplazar por una AT1 1.0
135+000	160	AT1 0,50	48	0.23	137.35	si		
135+300		Pontillón 17,5 m		137.12				
135+547	165	AT1 0,50	2.9	0.23	0.23	no	Obra en pendiente, el agua no captada sigue aguas abajo para ser evacuada por otra obra.	
135+991	175	AT1 0,50	1.4	0.23	0.23	no		Reemplazar por una AT1 1.0

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CHIMARRUTA

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
136+095	170	Pontillón 11 m	30	96.49	96.49	si		
136+830	180	AT1 0,60	31	0.37	47.5	si		
137+381		Pontillón 5,5 m		47.13				
138+603	obra de paso	AT1 0,60	--	0.37	--	si	Obra de paso.	
138+230	190	AT2 0,60	15	HY-8	HY-8	si	Las obras ubicadas en las cuencas 190 y 200 modelados en hy-8 y analizados a detalle como un caso especial.	
138+998		Pontillón 4,3 m		HY-8				Conformar un canal tipo embocadura, con una berma que permita elevar el N.A. (Ver detalle en el apartado de casos especiales)
139+460	200	Pontillón 4,3 m	20	HY-8	HY-8	no		
139+610		AT1 1,00		HY-8				Reemplazar la obra por una AC3 1.0 x 1.0
139+652		AT1 1,00		HY-8				
139+850	obra de paso	AT1 0,50	--	0.23	2.64	si		
140+060	obra de paso	AT1 0,60	--	0.37	2.64	si		
140+590	obra de paso	AT1 1,00	--	1.44	2.64	si		
141+910	215	AT1 0,50	0.1	0.23	0.23	si		

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
142+891	210	AT1 1,00	48	1.44	56.4	si	Obras de la cuenca modeladas en hy-8	
143+063		Pontillón 5,30 m		50.79				
143+406		AT2 1,00		2.73				
143+553		AT1 1,00		1.44				
144+560	220	Pontillón 11,50 m	100	130.62	437.78	si		
144+930		Pontillón 17,50 m		210.92				
144+980		Pontillón 3,70 m		31.74				
145+150		Pontillón 10,6 m		64.5				
146+682	230	Pontillón 3,0 m	17.9	23.89	23.89	si		
147+497	240	AT1 1,00	5.7	1.44	1.81	no	Alado de la ruta se cuenta con una llanura de más de 100 metros para el esparcimiento.	
147+730		AT1 0,60		0.37				
147+949	250	Pontillón 6,6 m	17.4	45.39	45.39	si		

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CEIBA RUTA

" 246 " -Doscientos cuarenta y seis "

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
148+835	255	AT1 0,50	3.2	0.23	0.6	no	El caudal no captado continúa escurriendo de forma longitudinal, por cuneta a pie de talud hasta la próxima obra.	Reemplazar por AT1 0.8
149+210		AT1 0,60		0.37				
149+920	260	AT1 0,60	4.2	0.37	1.88	no	El caudal no captado continúa escurriendo de forma longitudinal, por cuneta a pie de talud hasta la próxima obra.	
150+535		AT2 0,80		1.51				
150+740	270	AT1 1,00	19	1.44	46.83	si		
151+126		Pontillón 6,7 m		45.39				
151+401	280	Pontillón 3,0 m	15.5	23.89	23.89	si		
152+289	290	AT1 1,00	7.3	1.44	1.67	no	Zona baja, se observa una extensa área de esparcimiento, por lo cual no se espera sobrepaso de terraplén	Reemplazar por AC2 1.5 x 1.5 m
152+540		AT1 0,50		0.23				
152+770	310	AT1 0,60	2	0.37	0.37	no	Si bien la obra es insuficiente, se tiene una altura de terraplén de aprox. de 2 m, con lo cual la obra puede entrar en carga en eventos intensos de lluvia.	Se recomienda protección en la salida por tratarse de un funcionamiento tipo orificio, con altas velocidades en la salida de la alcantarilla.

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
153+623	300	Pontillón 10 m	33	110.85	112.29	si		
154+220		AT1 1,00		1.44				
155+006	320	AT1 1,00	3.9	1.44	1.44	no	El agua excedente va a la siguiente obra situada en la 155+144, la cuál será ampliada.	
155+144	330	AT1 1,00	2.1	1.44	1.44	no	En la verificación estructural se recomienda reemplazo de la obra de manera urgente.	Reemplazar por AC3 1.0 x 1.0 m
155+482	340	AT1 1,00	4.2	1.44	1.44	no	El terraplén se encuentra elevado (más de 3 m), también se tiene una laguna aguas arriba de la obra.	Se recomienda protección en la salida por tratarse de un funcionamiento tipo orificio, con altas velocidades en la salida de la alcantarilla.
156+601	350	Pontillón 6,0 m	14	59.44	62.17	si		
156+705		AT2 1,00		2.73				
156+977	360	AT1 1,00	1.5	1.44	1.44	si		
157+420	365	AT1 1,00	1.2	1.44	1.44	si		
157+580	--	AT1 0,60	--	0.37	--	--	Estas obras están ubicadas en la planicie del Rio	
158+657		Pontillón 2,9 m		22.8				

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CIENAGA RUTA 90

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
158+918		Pontillón 2,8 m					Tebicuary, fuera del alcance de este estudio.	
159+600		Puente 120 m						
160+660		Puente 300 m						
162+279	370	Pontillón 4,8 m	11.4	44.71	44.71	si		
165+317	380	AT1 0,80	2.8	0.79	0.79	no	Se tiene más de 1.5 m de altura de terraplén, y se observa las aguas pueden esparcirse al lado de la ruta en un tramo de aprox. de 300 m.	
166+017	390	AT2 0,80	5.6	1.51	1.51	no	Se tiene más de 1.5 m de altura de terraplén, y se observa las aguas pueden esparcirse al lado de la ruta en un tramo de más de 200 m.	
166+530	400	AT1 0,80	0.5	0.79	0.79	si		
167+080	410	Pontillón 3,70 m	8.6	31.74	31.74	si		
168+155	420	AT2 1,00	4.4	2.73	2.73	no	Se tiene más de 1.5 m de altura de terraplén, y se observa las aguas pueden esparcirse al lado de la ruta	

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONCESIONARIA RUTA

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
							en un tramo de aprox. de 150 m.	
169+174	430	AT1 0,70	1.5	0.56	0.56	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
170+125	440	Pontillón 3,70 m	4.9	31.74	31.74	si		
170+907	450	AT1 0,70	4	0.56	0.56	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
171+473	460	Pontillón 4,0 m	15.2	35.21	35.21	si		
171+945	470	AT1 0,80	2.1	0.79	0.79	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
172+479	480	AT1 0,80	2.4	0.79	0.79	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
173+109	490	AT1 1,00	4.5	1.44	1.44	no	Se observa un amplio valle de inundación, además el terraplén tiene 1.5 m de altura.	
173+730	500	AT2 1,00	5.1	2.73	2.73	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREAA RUTA 1

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
173+976	510	AT1 1,00	2	1.44	1.44	no	Alta pendiente en alcantarilla por lo que se considera que verifica.	Se recomienda protección en la salida por la alta pendiente.
174+306	520	Pontillón 3,80 m	7.7	32.89	32.89	si		
174+816	530	AT2 1,00	5	2.73	2.73	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
175+973	540	Pontillón 3,70 m	7.5	31.74	32.53	si		
176+200		AT1 0,80		0.79				
177+620	550	AT1 1,00	1.6	1.44	1.44	no	Si bien la obra operaría en carga, no se espera sobrepaso de terraplén.	
178+730	560	AC2 2,0 x 2,0	9	25.67	25.67	si		
179+425	570	AT2 1,00	16	2.73	2.73	no	Podría haber sobre paso de terraplén. Se observa zona de almacenamiento aguas arriba de la obra.	3 AC3 1,0 x 1,0 m distribuidas a lo largo de la planicie de inundación (800 metros de planicie).
179+906	580	AT1 0,80	1.6	0.79	0.79	no	Se aprecia una laguna al norte de la obra, a la cual podría ir el exceso de caudal.	
180+495	590	AT2 0,60	8	0.7	2.14	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
180+895		AT1 1,00		1.44				
181+224	600	AT1 1,00	3	1.44	70.94	si		

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONCORDO CREMA RUTA

- 241 - Doscientos cuarenta y uno -

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
181+434		Pontillón 6,80 m		69.5				
181+573	610	AT1 1,00	32	1.44	115.02	si		
181+786		Pontillón 7,3 m		45.39				
181+913		AT1 1,00		1.44				
182+206		Pontillón 3,80 m		32.89				
182+407		AT1 1,00		1.44				
182+908		AT1 1,00		1.44				
183+048		AT1 1,00		1.44				
183+208		AT1 1,00		1.44				
183+303		Pontillón 7,20 m		26.66				
183+589		AT1 1,00		1.44				
184+065	630	AT1 1,00	12.5	1.44	3.02	no	Proviene agua desde la progresiva 186+400, recorriendo casi 2 km. Claramente es un sector donde faltan obras de cruce. Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
184+359		AT1 0,80		0.79				
184+638		AT1 0,80		0.79				
187+630	640	AT1 1,00	5.2	1.44	1.44	no	El agua viene por una cuneta a pie de talud (margen derecha) desde la progresiva 186+500 aproximadamente. Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de	

CONSORCIO CREMA RUTA

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

Progresiva	Cuenca	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
							proyecto hasta la próxima obra.	
187+961	650	AT1 0,60	8.1	0.37	0.37	no	Caudal no captado escurre longitudinalmente al eje de proyecto hasta la próxima obra.	
188+217	660	Pontillón 2,80 m	25	21.72	24.45	si		
188+233		AT2 1,00		2.73				
190+569	670	Pontillón 3,80 m	13.2	32.89	32.89	si		
190+923	680	AT1 0,60	0.9	0.37	0.37	no	Se observa una socavación importante aguas abajo de la obra.	Reemplazar por AT1 0.80 m
191+896	690	Pontillón 3,80 m	45	32.89	123.66	si		
192+136		Pontillón 3,80 m		32.89				
192+295		Pontillón 3,10 m		24.99				
192+494		Pontillón 3,80 m		32.89				
193+290	710	Pontillón 2,90 m	9	22.8	22.8	si		
194+358	720	Pontillón 2,70 m	6	20.65	21.02	si		
195+300		AT1 0,60		0.37				
195+052	730	AT1 0,70	0.5	0.56	0.56	SI		
196+231	740	AT1 0,80	1.7	0.79	0.79	NO	Una ATS 0,80 no verifica. Se analizó esta obra en el software Hy8 con una tubular doble y la respuesta mejora. Si bien sigue sin	Se recomienda protección en la salida por tratarse de un funcionamiento tipo orificio, con altas

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal

CONSORCIO CREMA RUTA

Progresiva	Obras	Obra	Q cuenca (m3/s)	Q alc (m3/s)	Capacidad conjunto (m3/s)	Verifica Norma	Comentarios	Intervención Recomendada
							verificar como canal, la alcantarilla responde como orificio.	velocidades en la salida de la alcantarilla.

CONSORCIO CREMA RUTA 1

Ing. ROLANDO RIOS TOMBOLY
Representante Legal