

**COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y
DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA**

**INFORME FINAL DE PERITAJE
CARRETERA CHILAMATE – VUELTA KOOPER
TRAMO 21+700 AL 22+200**

Consultor:

Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph.D.

Enero de 2018

**COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y
DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA**

**INFORME FINAL DE PERITAJE
CARRETERA CHILAMATE – VUELTA KOOPER
TRAMO 21+700 AL 22+200**

Enero de 2018

03	Informe final	30/01/18	RMM		
02	Borrador Informe final	26/01/18	RMM	FBC	
01	Informe preliminar	17/01/18	RMM	FBC	
Ed.	Objeto	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica					
Responsable: Ing. Rafael Eduardo Murillo Muñoz, IC-7091					

Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph.D.
Apartado Postal 803 – 2350
San José, San José, San Francisco de Dos Ríos
10106 – 2350 Costa Rica
Rafael.Murillo.Munoz@gmail.com

Tabla de Contenido

Capítulo 1	
Introducción	5
<i>1.1 La carretera Chilamate – Vuelta de Kooper</i>	<i>5</i>
<i>1.2 Ubicación</i>	<i>6</i>
<i>1.3 Objetivos del trabajo</i>	<i>6</i>
<i>1.4 Alcances y limitaciones</i>	<i>7</i>
<i>1.5 Antecedentes</i>	<i>8</i>
Capítulo 2	
Caracterización climática	9
<i>2.1 Ubicación del área de estudio</i>	<i>9</i>
<i>2.2 Características climáticas del área</i>	<i>9</i>
<i>2.3 Intensidades de precipitación</i>	<i>10</i>
Capítulo 3	
Infraestructura existente	12
<i>3.1. Infraestructura existente</i>	<i>12</i>
<i>3.2. Observaciones de campo</i>	<i>13</i>
<i>3.2.1 Alcantarilla en el punto de drenaje 1</i>	<i>15</i>
<i>3.2.2 Alcantarilla en el punto de drenaje 2</i>	<i>16</i>
<i>3.2.3 Tragantes en el punto de drenaje 3</i>	<i>17</i>
<i>3.2.4 Estructuras del punto de drenaje 4</i>	<i>19</i>
<i>3.2.5 Cunetas de concreto</i>	<i>20</i>
Capítulo 4	
Análisis de la capacidad hidráulica	22
<i>4.1. Estimación de caudales</i>	<i>22</i>
<i>4.2 Coeficiente de resistencia al flujo</i>	
<i>4.3. Capacidad hidráulica del punto de drenaje 2</i>	<i>23</i>
<i>4.4. Capacidad hidráulica del punto de drenaje 3</i>	<i>24</i>
<i>4.5 Capacidad hidráulica del punto de drenaje 4</i>	<i>30</i>

Capítulo 5	
Conclusiones y recomendaciones	33
Bibliografía	35
Anexo	36

Capítulo 1 Introducción

1.1 La Carretera Chilamate – Vuelta de Kooper

El día 17 de agosto de 2017 el Gobierno de la República anunció la habilitación del tramo de la Ruta Nacional N° 4 sección Chilamate - Vuelta de Kooper. Este corredor vial se extiende desde la localidad de Bajos de Chilamate, en Sarapiquí de Heredia, hasta Vuelta de Kooper en San Carlos. Con 27,09 km de longitud esta carretera fue habilitada el día 23 de agosto de 2017.

La carretera se realizó con dos vías (una por sentido de circulación) y contempla dentro de sus obras significativas ocho puentes mayores, cinco intercambios a desnivel, cinco pasos a desnivel, nueve accesos a fincas y cuatro marginales así como un número significativo de alcantarillas. La Figura 1.1 muestra esquemáticamente el recorrido de la carretera.



Figura 1.1. Recorrido esquemático de la carretera (Mopt, 2017)

Desafortunadamente los días 24 y 25 de agosto de 2017, la carretera sufrió inundaciones en el sector de La Lydia, en Pital de San Carlos, cerca del puente sobre el río Tres Amigos (Ver Fotografía 1). Esta situación ha causado molestia entre los usuarios y los vecinos por lo que la percepción del proyecto por parte de la población se ha visto afectada.

Por ello el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica encomendó un peritaje del sistema de drenaje pluvial de la carretera Chilamate – Vuelta de Kooper en el tramo comprendido entre el estacionamiento 21+700 y el 22+200. Es conveniente señalar que en este trabajo se toma como referencia el estacionamiento 22+200 en el puente sobre el río Tres Amigos.



Fotografía 1. Inundaciones en el sector de Lydia, 24 de agosto de 2017. (La Nación, 2017)

1.2 Ubicación

El área en estudio de la Ruta Nacional N° 4 se ubica en el distrito de Pital, cantón San Carlos, provincia de Alajuela y comprende el tramo de carretera entre los estacionamientos 21+700 y 22+200. El área se encuentra enmarcada dentro del cuadrante definido por la coordenadas [467.150; 1.151.900] y [468.500; 1.154.200] de la proyección CRTM05. Esta región se encuentra en la hoja cartográfica, en escala 1:50.000, Aguas Zarcas del Instituto Geográfico Nacional. La Figura 1.2 muestra la ubicación aproximada del área de estudio.

1.3 Objetivos del trabajo

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- a) Estimar la capacidad hidráulica de las estructuras de drenaje pluvial ubicadas en el tramo en consideración.
- b) Determinar si dichas estructuras de drenaje son adecuadas para las condiciones de escurrimiento que ocurren en el sector de carretera en estudio.



Figura 1.2. Ubicación esquemática del área de estudio.

1.4 Alcances y limitaciones

Los alcances del presente estudio son:

- El estudio abarca el tramo de carretera comprendido entre los estacionamientos 21+700 y 22+200 de la Ruta Nacional N° 4.
- La capacidad hidráulica de las estructuras corresponde a una aproximación razonada ya que no se contó con información detallada de las estructuras construidas (planos conforme a lo construido o planos “as built”).
- Los caudales máximos instantáneos estimados corresponden a las crecientes producidas por las tormentas con períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

Dentro de las limitaciones del presente estudio están:

- Para la elaboración de este trabajo no se contó con información topográfica detallada del tramo así como tampoco con planos de obra conforme a lo construido (planos “as built”).
- En el análisis se utilizó la información de los planos asociados al contrato del CFIA número OC-787034, tramo 20+980-23+500, de fecha 04/08/2017.
- Las cuencas se delimitaron a partir de la hoja cartográfica Aguas Zarcas, escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Nacional.
- En la zona de estudio no se cuenta con información hidrometeorológica, por lo que el análisis se basó en información meteorológica de cuencas vecinas.

1.5 Antecedentes

El Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, a solicitud de su Dirección Ejecutiva, realizó una visita de inspección al tramo en consideración. La visita la realizaron funcionarios del Departamento de Sedes Regionales del CFIA; el informe de dicha visita tiene fecha 29 de agosto de 2017 y consecutivo INF: I-359-2017-DSR (Viquez y Monge, 2017). El motivo de la visita fue documentar las inundaciones ocurridas en el tramo de carretera en consideración.

El informe indica que la empresa Sánchez – Carvajal estaba realizando labores correctivas al momento de la visita. Menciona que dichas labores correspondían a limpieza del sistema pluvial y ampliación del área de desfogue de los tragantes ubicados en el tramo. En las imágenes del documento se puede apreciar la acumulación de materiales en las cunetas, la escorrentía en los taludes, la inundación en la zona de aguas arriba de la alcantarilla de la estación 21+700 así como el funcionamiento del desfogue pluvial en el río Tres Amigos.

Se concluye en el informe que es necesario realizar medidas correctivas en el sitio, que al momento de la visita se estaban ejecutando labores paliativas y que la escorrentía proveniente de terrenos aledaños incrementa el volumen de agua a ser evacuado. Finalmente señala que los alcantarillados existentes en la vía no pueden evacuar correctamente toda la escorrentía producida.

Capítulo 2 Caracterización climática

Se presenta a continuación la caracterización climática del área de estudio.

2.1 Ubicación del área de estudio

Como se indicó en el apartado §1.2 el tramo de la Ruta Nacional N° 4 en consideración se ubica cerca de la población de Pital; específicamente del río Tres Amigos (22+200 m) y en dirección Este hasta aproximadamente el primer afluente del río dicho río (21+700 m) que cruza la carretera. La Figura 2.1 muestra este sector en la hoja cartográfica Aguas Zarcas.



Figura 2.1. Ubicación del tramo en estudio.

2.2 Características climáticas del área

La región Norte pertenece al régimen de precipitación del Caribe, que es lluvioso todo el año, con una disminución relativa de las lluvias en los meses de febrero, marzo y abril. Es una región de contrastes en la lluvia, ya que en ella interactúan tanto elementos climáticos como factores geográficos debido a su relieve montañoso y la presencia de llanuras extensas, aparte de la influencia del lago de Nicaragua al Noroeste.

La región Norte presenta un solo periodo lluvioso que se inicia en mayo y finaliza en diciembre o enero. Durante los meses de fin y principio de año, el aporte de los frentes fríos es muy importante para sostener las actividades agropecuarias de la zona. De hecho, durante años lluviosos, los frentes fríos son los eventos que más aportan al total de lluvia anual. Sin embargo, bajo la influencia de algunos fenómenos de variabilidad (como El Enos), es posible que los frentes fríos no sean tan frecuentes o bien

no aporten cantidades importantes de lluvia. Cuando esta condición predomina, es posible que se presenten sequías estacionales, principalmente entre diciembre y enero.

El relieve influye sobre la distribución espacial de las lluvias. En el pie de monte de la cordillera Volcánica de Guanacaste se presentan precipitaciones anuales superiores a los 2.000 mm, mientras que en las partes altas de la cordillera, la influencia del Pacífico hace disminuir las lluvias pudiéndose observar incluso periodos de veranillo; como en el caso de Zarcero.

Las mayores precipitaciones se presentan en la zona del pie de monte de la Cordillera Volcánica Central (Ciudad Quesada) y hacia el Este de la zona, cerca de Barra del Colorado donde existe uno de los máximos núcleos de precipitación del país. Hacia las llanuras de San Carlos y los Guatuzos, la precipitación tiende a disminuir. La región Norte es la tercera región más lluviosa del país con más de 3.200 mm al año en promedio. Los valores mínimos de la región Norte se presentan en la zona fronteriza, en las cercanías del Lago de Nicaragua hacia el Oeste, donde hay mayor influencia del régimen del Pacífico sobre todo durante años de eventos secos.

Los vientos predominantes durante el año en la región Norte son de componente Este con una velocidad promedio de 10,7 km/h, que tienen mayor intensidad en los meses de diciembre a febrero. Los vientos de componente Suroeste pueden afectar las zonas altas de la cordillera Volcánica Central.

El clima en el área de estudio puede ser representado por la estación 69661 Ciudad Quesada, la cual registra un valor de precipitación promedio anual de 3.850 mm. La distribución mensual de este valor se presenta en la Figura 2.2. Como se observa en esta figura en los meses de febrero a abril se da una disminución importante en la precipitación mientras que de mayo a enero los valores de lluvia promedio mensual son cuantiosos.

La temperatura promedio en la región oscila entre los 17 °C y los 27 °C mientras que la promedio anual es de 21,8 °C. La Figura 2.3 muestra los valores promedio de temperatura máxima, media y mínima en la estación 69661 Ciudad Quesada.

2.3 Intensidades de precipitación

Las intensidades de precipitación en el área de estudio pueden ser estimadas con las curvas Intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la estación 69661 Ciudad Quesada (Rojas, 2011). Estas curvas IDF puede representarse como

$$i = \frac{1122,01T^{0,167}}{t^{0,806}} \quad [1]$$

Donde i es la intensidad de la precipitación en mm/h, T es el periodo de retorno en años y t es la duración de la intensidad en minutos.

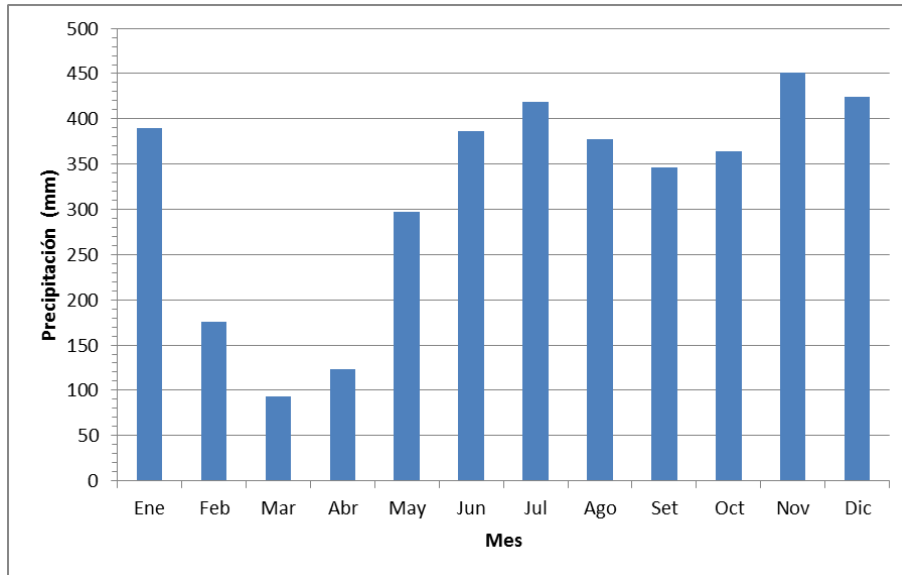


Figura 2.2. Precipitación promedio mensual en la estación 69661 Ciudad Quesada.

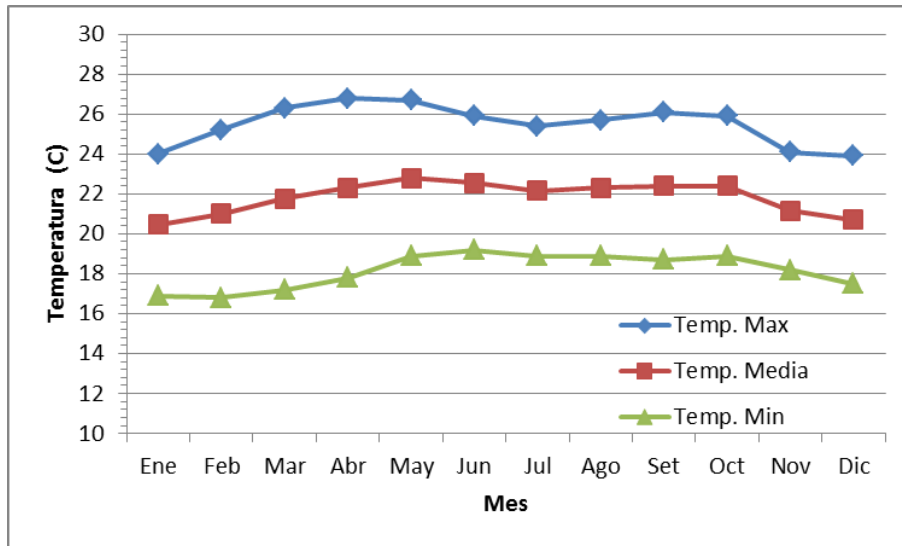


Figura 2.3 Temperaturas promedio mensual en la estación 69661 Ciudad Quesada.

Capítulo 3

Infraestructura existente

Se presenta a continuación las condiciones generales de la Ruta Nacional N° 4 Chilamate – Vuelta de Kooper en el tramo comprendido entre los estacionamiento 21+700 al 22+200. Se realizan además comentarios sobre lo observado en campo. Se debe indicar que los estacionamientos que se mencionan en este trabajo se establecen tomando como base el estacionamiento 22+200 en el puente sobre el río Tres Amigos. Estos estacionamientos no coinciden con los establecidos en los planos por lo que en el Anexo se señala la correspondencia.

3.1 Infraestructura existente

Para la realización de este trabajo se contó con información proveniente de los planos asociados al contrato del CFIA número OC-787034 de fecha 04/08/2017 (tramo 20+980 – 23+500 según planos), pero no así con planos según lo construido (planos “as built”).

Durante la inspección, realizada el 08 de setiembre de 2017, se pudo observar que el tramo en consideración se sitúa al Sur y de forma paralela a la carretera que comunica las comunidades de Aguas Zarcas y Pital (Ruta Nacional N° 250). Se trata de una carretera con pavimento asfáltico de dos carriles (uno por sentido), espaldones y cunetas de hormigón en ambos lados de la vía. En el estacionamiento 21+700 se observó una alcantarilla sesgada (coordenadas 10°26'06"N; 84°17'41"W) mientras que en el estacionamiento 21+870 aproximadamente se ubica un paso a desnivel. Se pudo observar que aproximadamente en el estacionamiento 21+900 se construyeron dos tragantes (uno en cada lado de la vía) mientras que el puente sobre el río Tres Amigos se ubica en el estacionamiento 22+200. La Fotografía 2 muestra una vista panorámica del tramo entre el estacionamiento 21+700 y 21+870 mientras que la Fotografía 3 hace lo mismo para el tramo entre 21+900 y 22+200.

Finalmente se debe señalar que en el estacionamiento 21+500 aproximadamente se observó también una alcantarilla sesgada. Esta alcantarilla se ubica en las coordenadas 10°26'05"N y 84°17'50"W aproximadamente.



Fotografía 2. Tramos de carretera entre los estacionamiento 21+700 y 21+870 m.



Fotografía 3. Sector comprendido entre los estacionamientos 21+900 y 22+200 m.

3.2 Observaciones de campo

El área de estudio es drenada naturalmente por el río Tres Amigos y dos de sus afluentes, todos los cuales presentan un patrón de drenaje SSE-NNW aproximadamente. El tramo de carretera en consideración está en corte por lo que existe una divisoria natural de drenaje, consecuentemente se estima que en su condición inalterada una parte del área de estudio drenaba hacia el río Tres Amigos mientras que otra hacia los afluentes de dicho río.

El trazado longitudinal del tramo de carretera en estudio presenta una curva vertical cóncava cuyo punto de elevación mínima se ubica aproximadamente en el estacionamiento 21+900, es decir, los tragantes parecen ubicarse en el punto más bajo del trazado. Por otra parte, en el estacionamiento 22+100 aproximadamente se da un cambio en las pendientes de las cuentas, de dirigirse hacia los tragantes se encauzan ahora hacia el río Tres Amigos. Consecuentemente, existen cuatro puntos de

drenaje para el tramo considerado: los dos afluentes del río Tres Amigos, los tragantes y el río Tres Amigos. Estos cuatro puntos se aprecian en la Figura 3.1.

Conforme a lo anterior y de manera simplificada, se puede estimar que la escorrentía proveniente de estacionamientos anteriores al 21+500 drena por el punto 1; la escorrentía producto del tramo entre 21+500 y 21+700 desagua por el punto 2, y la escorrentía producida entre los estacionamientos 21+700 y 22+100 lo hace por el punto 3. El tramo comprendido entre los estacionamientos 22+100 y 22+200 drena hacia el río Tres Amigos (Punto 4) ya que las cunetas de hormigón y taludes favorecen ese desagüe como se mencionó anteriormente. La Figura 3.2 muestra el esquema de drenaje descrito.

Por su parte, en el sector en consideración la Ruta Nacional N° 250 se emplaza al Norte y de forma paralela al trazado de la carretera Chilamate - Vuelta de Kooper, esta ruta nacional funciona como divisoria de aguas por lo que se puede considerar, en términos prácticos, que aproximadamente una franja de 15 m de ancho podría tener aportación hacia el drenaje de la carretera Chilamate-Vuelta Kooper. Al sur de la carretera se tienen terrenos de cultivo que drenan naturalmente hacia los puntos 1 y 2 o hacia el río Tres Amigos, sin embargo, de forma conservadora se puede suponer que una franja de 50 m de ancho drena hacia el sistema pluvial de la carretera en consideración.

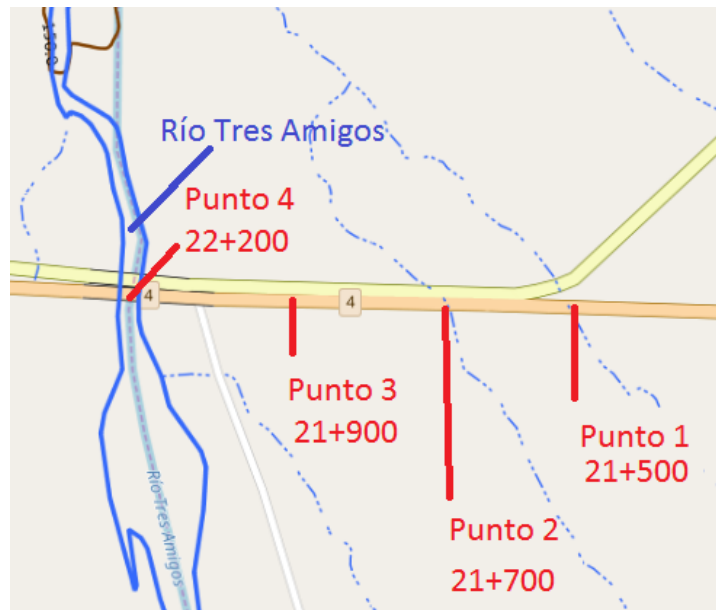


Figura 3.1 Puntos de drenaje para el tramo de carretera en estudio.

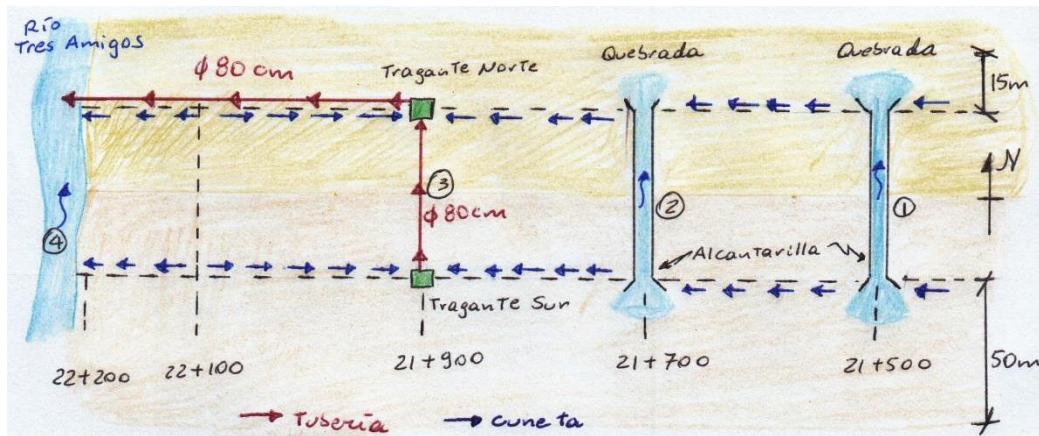


Figura 3.2 Esquema del sistema de drenaje pluvial del tramo en estudio.

3.2.1 Alcantarilla en el punto de drenaje 1

La alcantarilla en el punto de drenaje 1 es una estructura sesgada de unos 30 m de longitud aproximadamente. Se encontraba al momento de la visita en buenas condiciones y fue construida con tubería de concreto de 150 cm de diámetro. Se ubica en las coordenadas 10°26'05"N y 84°17'50"W aproximadamente. La Fotografía 4 muestra el cabezal de entrada de dicha estructura. En planos esta alcantarilla es de 152 cm de diámetro con 27,50 m de longitud y una pendiente del 1,00%. Aguas abajo de esta estructura se localiza otra alcantarilla que permite el paso del agua a través de la Ruta Nacional N° 250.



Fotografía 4. Cabezal de entrada de la alcantarilla en el estacionamiento 21+500.

3.2.2 Alcantarilla en el punto de drenaje 2

De acuerdo con la información de los planos esta alcantarilla es de concreto con un diámetro de 1,20 m, una longitud de 17,50 m, una pendiente de 1,50% y un sesgo de 17°. La alcantarilla observada en el punto de drenaje 2 es una estructura sesgada de unos 25 m de longitud aproximadamente. Al momento de la visita mostraba deterioro significativo, especialmente su cabezal de entrada, fue construida con tubería de concreto de 120 cm de diámetro. Se ubica en las coordenadas 10°26'06"N y 84°17'41"W. Presentaba además una tubería de PVC de 10 cm de diámetro dentro de su barril. El cabezal de salida está constituido por una caja de registro con tragantes que conecta con la alcantarilla que cruza la Ruta Nacional N° 250. Las fotografías 5 a 8 muestran las condiciones de la alcantarilla ubicada en el estacionamiento 21+700.



Fotografía 5. Alcantarilla en el estacionamiento 21+700.



Fotografía 6. Daños en el cabezal de entrada.



Fotografía 7. Caja de registro en la salida de la alcantarilla en estacionamiento 21+700.



Fotografía 8. Tragante de la caja de registro.

3.2.3 Tragantes en el punto de drenaje 3

Las estructuras de drenaje ubicadas en el punto 3 son dos tragantes, una a cada lado de la vía. Se ubican aproximadamente en el estacionamiento 21+900 y se muestran en las Fotografías 9 y 10. En los planos se indican que son cajas (N° 3 y 4) del tipo VA-1 y de geometría similar a un tragante con entrada lateral. Esos dos tragantes se comunican, de acuerdo a planos, por una tubería de concreto de 80 cm de diámetro, pendiente 1,00% y longitud de 16,50 m. Posteriormente se desagua hacia el río Tres Amigos por una tubería de 241 m de longitud y 80 cm de diámetro con una pendiente de 1,00%. De acuerdo a planos a una distancia de 110m aguas abajo del tragante se ubica un pozo de registro.

El tragante del sector Norte presenta en campo una entrada en forma trapecial con un ancho de base que ronda los 50 cm mientras que su parte superior unos 95 cm aproximadamente. Es importante señalar que este tragante recibe agua por ambos lados y las cunetas que se aproximan presentan una contracción cerca de la entrada. Esta contracción podría eventualmente ser una restricción al flujo así como propiciar su obstrucción debido al atascamiento de materiales. El tragante es además conformado por una caja de registro de aproximadamente 130 cm de ancho, 180 cm de largo y 125 cm de alto entre su fondo y la rasante de las cunetas. El agua le ingresa por un tubo de concreto de 80 cm de diámetro proveniente del tragante del sector Sur. El agua sale de la caja de registro por una tubería de 80 cm de diámetro (Ver fotografías 11 a 13) y en dirección hacia el desfogue en el río Tres Amigos.

Como se observa en la Fotografía 11, la tubería proveniente del sector Sur presenta, al momento de la visita, obstrucciones ocasionadas por materiales adheridos en la corona del tubo, estas obstrucciones sugieren además que el tubo ha trabajado cerca de su condición de flujo lleno. Esta situación debe ser corregida y se deben eliminar los elementos que puedan estar provocando las adherencias de material. Adicionalmente la configuración de flujo a 90° que se aprecia en la Fotografía 13 no es, desde el punto de vista hidráulico, conveniente ya que requiere una redistribución abrupta de las líneas de corriente, lo cual genera turbulencia y podría redundar en una eficiencia baja de la salida.

El tragante en el sector Sur presenta entradas de agua por ambos lados con dimensiones un poco mayores a las del sector Norte, aproximadamente 90 cm es la base del trapecio de entrada y su línea superior ronda los 100 cm. Las dimensiones de la caja de registro son similares a las del sector Norte. Una de las entradas del tragante presenta una obstrucción debido que una escalera marinera (ver Fotografía 10) fue colocada ahí. Las Fotografías 14 y 15 muestran una vista hacia el Este del tragante del sector Sur y la tubería de salida de 80 cm de diámetro, respectivamente.

Finalmente se debe señalar que no se observó un sistema auxiliar para la evacuación de las aguas pluviales. En curvas verticales cóncavas, y en general en todo punto bajo, es buena práctica el colocar tragantes o sumideros auxiliares a los principales; para que en el caso de que los principales se obstruyan, el sistema auxiliar pueda evacuar el agua sin que la vía se vea afectada significativamente. Por lo general el sistema auxiliar tiene su cota de vertido por encima del nivel máximo del sistema principal, se coloca además de forma tal que se garantice que el nivel de agua no subirá por encima de un nivel crítico determinado para la carretera. Tampoco se observaron pozos de registro para la tubería entre el tragante del sector Norte y el desfogue pluvial en el río Tres Amigos, estos pozos son importantes para el mantenimiento y limpieza de dicha tubería.



Fotografía 9. Tragante en el sector Norte de la vía, estacionamiento 21+900.



Fotografía 10. Tragante en el sector Sur de la vía, Estacionamiento 21+900.



Fotografía 11. Tubería que ingresa a la caja de registro, sector Norte.



Fotografía 12. Tubería de salida de la caja de registro, sector Norte.



Fotografía 13. Flujo en la caja de registro del sector Norte.



Fotografía 14. Tragante del sector Sur.
Estacionamiento 21+900



Fotografía 15. Tubería de salida de la caja de registro, sector Sur.

3.2.4 Estructuras del punto de drenaje 4

Las estructuras de drenaje del punto 4 corresponden a obras de caída en gradas que drenan hacia el cauce del río Tres Amigos. La Fotografía 16 muestra la estructura colocada en el sector Sur de la calzada. Como se aprecia en la fotografía el flujo es canalizado hasta el nivel superior del bastión y luego se deja escurrir libremente, esto podría provocar en el futuro problemas localizados de erosión y desestabilización de los terrenos aledaños, entre otras cosas.

La Fotografía 17 muestra el sector donde se ubica la estructura de caída pluvial del sector norte, de acuerdo con lo observado en campo dicha estructura de caída así como la cuneta de aguas arriba fueron probablemente destruidas por la acción del agua. En los planos a que se tuvo acceso no se observan detalles para estas estructuras.

3.2.5 Cunetas de concreto

Las cunetas empleadas en el tramo de consideración son de forma estándar con una profundidad de 60 cm, inclinación de pared externa de acuerdo con la pendiente del corte y una inclinación de 2,5H:1V aproximadamente para su pared interna. De acuerdo con los planos las cunetas de la calle principal tienen una altura de 50 cm, una inclinación de 3H:1V en su pared interna mientras que de 1H:1V en su pared externa. Algunos tramos cortos, sin embargo, presentan cunetas de configuración diferente al señalado anteriormente. La Fotografía 19 muestra una cuneta típica del tramo bajo estudio.



Fotografía 16. Estructura de caída del sistema pluvial ubicada en el sector Sur.



Fotografía 17. Estructura de caída erosionada en el sector Norte del sistema pluvial.



Fotografía 18. Tramo de cuneta destruido por la acción del agua en el sector Norte.



Fotografía 19. Cuneta típica en el tramo en consideración.

Capítulo 4

Análisis de la capacidad hidráulica

Se presenta a continuación las estimaciones hidrológicas e hidráulicas para las estructuras de drenaje de la Ruta Nacional N° 4 en el tramo 21+700 a 22+200. Consecuentemente en el punto de drenaje 1 no se realizan estimaciones ya que está fuera del área de estudio.

4.1 Estimación de caudales

La estimación de la capacidad máxima en el análisis de las cunetas y de alcantarillas se realiza por medio del método racional. Las hipótesis a partir de las cuales fue desarrollado este método son las siguientes:

- a) El exceso de lluvia ocurre con una duración mínima igual al tiempo de concentración de la cuenca. Por tanto, el caudal pico es una función de la intensidad de lluvia promedio durante el tiempo de concentración.
- b) La lluvia ocurre con la misma intensidad en toda la superficie de la cuenca.
- c) La precipitación empieza y acaba al mismo tiempo en toda la cuenca.
- d) El almacenamiento superficial en la cuenca es depreciable.
- e) La probabilidad de ocurrencia del caudal pico es la misma que la probabilidad de ocurrencia de la intensidad de lluvia.

En el método racional el caudal pico se expresa como

$$Q_P = \frac{CiA}{360} \quad [2]$$

Donde Q_p es el caudal pico y se expresa en m^3/s , C es el coeficiente de escorrentía, i es la intensidad de la lluvia en mm/h y A es la superficie de la cuenca en hectáreas. Para cumplir con las hipótesis planteados se considera que la superficie de la cuenca debe ser menor a 80 ha.

El coeficiente de escorrentía es la relación entre el pico de escorrentía y la intensidad de lluvia sobre un plano iA , y es adimensional. Es la variable menos precisa del método racional y su uso implica una relación fija entre el caudal pico y el caudal de entrada en la cuenca, lo que en realidad no es cierto.

4.2 Coeficiente de resistencia al flujo

Se menciona en la literatura (ACPA (2011), Schall et al (2012)) que para el coeficiente de resistencia la diferencia entre los valores obtenidos en laboratorio y los aceptados para diseño es significativa. En el caso del coeficiente de resistencia conocido como “n” de Manning los valores de laboratorio oscilan

entre 0,009 y 0,010, mientras que para diseño los profesionales en ingeniería han utilizado históricamente valores de 0,012 y 0,013. La diferencia entre el laboratorio y la práctica profesional se asocia a que en el laboratorio se utiliza agua limpia y tuberías rectas sin curvas, pozos de inspección, escombros u otras obstrucciones. El uso de valores de n de 0,012 y 0,013 se considera como una buena práctica profesional (ACPA, 2011). En este informe se utilizará un valor de $n = 0,012$ siguiendo la recomendación de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (Schall, 2012) y en congruencia con la buena práctica profesional.

4.3 Capacidad hidráulica del punto de drenaje 2

El punto de drenaje 2 está constituido por una alcantarilla de concreto, sesgada, de diámetro 1,20 m y una longitud aproximada de 25 metros. Un análisis teórico exacto del flujo en una alcantarilla es extremadamente complejo ya que el flujo por lo general no es uniforme y posee regiones tanto de flujo gradualmente variado como de rápidamente variado. Con el fin de sistematizar el análisis de flujo en una alcantarilla los diferentes tipos de flujo que pueden ocurrir se clasifican de acuerdo con la ubicación de la sección de control, ya sea control a la entrada o control a la salida. De esta forma se aplica el concepto de “desempeño mínimo” donde la alcantarilla jamás operará con un desempeño inferior al calculado.

En el caso de la alcantarilla en consideración, aguas arriba de la estructura se tiene un curso de agua cuya pendiente en la cercanía de la estructura es suave, mientras que aguas abajo se tiene otra alcantarilla que cruza la Ruta Nacional N° 250. Debido a su cercanía, ambas estructuras son dependientes una de la otra, así que de manera estricta, deben ser analizadas conjuntamente. Sin embargo, para efectos de estimaciones preliminares esta interacción entre las estructuras se desprecia, se supone control a la entrada y se utilizan los valores característicos indicados en los planos. La Figura 4.1 muestra la curva de desempeño para las condiciones anteriormente descritas. De acuerdo con planos, la elevación de la línea centro de la calzada es la cota 160,30 metros, por lo que si se supone que el nivel de agua de entrada a la alcantarilla fuese ese se tendría una capacidad de descarga de la alcantarilla de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente. Se debe señalar sin embargo que si el nivel del agua llegase a la cota 160,30 m la quebrada se desbordaría y fluiría hacia el punto de drenaje 3. La incorporación de la alcantarilla de la Ruta Nacional N° 250 en el análisis tendería probablemente a disminuir aún más esa eficiencia.

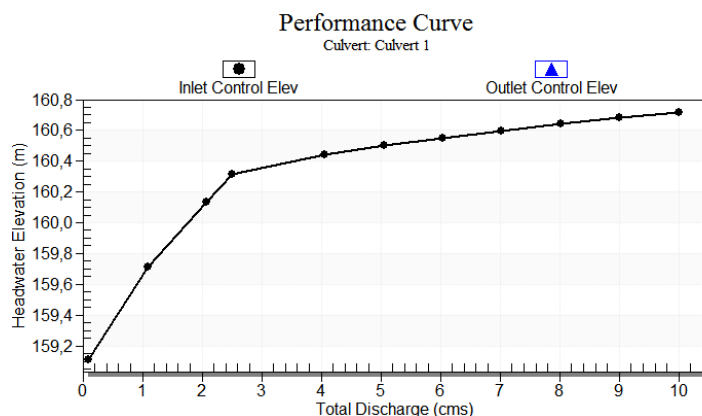


Figura 4.1 Curva de desempeño estimada para la alcantarilla del punto de drenaje 2, flujo con control a la entrada (descarga libre).

Por otra parte, el área de drenaje estimada para la quebrada es de aproximadamente 68 ha mientras que los valores de intensidades de lluvia y coeficientes de escorrentía se muestran en la Tabla 4.1. Los caudales estimados se muestran en la Tabla 4.2. Como se aprecia, los caudales estimados son mayores a la capacidad hidráulica de descarga de la alcantarilla, por lo que dicha estructura se considera que no es adecuada. Como consecuencia es probable que se presenten desbordamientos en dicha estructura que probablemente afectarán al punto de drenaje 3.

Tabla 4.1. Intensidades de lluvia (mm/h) y coeficiente de escorrentía para el área de drenaje de la quebrada.

Duración de la intensidad (minutos)	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
20	131	147	172	193
25	110	123	143	161
30	95	106	124	139
Coeficiente de escorrentía	0,45	0,45	0,50	0,54

Tabla 4.2. Caudales estimados (en m³/s) para la quebrada.

Duración de la intensidad (minutos)	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
20	11,2	12,5	16,1	19,7
25	9,3	10,5	13,4	16,4
30	8,0	9,0	11,6	14,2

4.4 Capacidad hidráulica del punto de drenaje 3

En el punto de drenaje 3 existen dos tragantes, uno a cada lado de la vía, que reciben agua por ambos lados. En el caso de la cuneta del sector Sur las Tablas 4.3 y 4.4 muestran su capacidad hidráulica y los caudales esperados, respectivamente. La capacidad hidráulica de las cunetas se estima tomando una profundidad máxima de 50 cm (altura máxima señalada en planos para la pared interna) y pendientes iguales a las de la rasante de la vía (0,828% y 1,623%). Se puede apreciar que para los periodos de retorno analizados las cunetas tienen capacidad hidráulica suficiente de acuerdo con las condiciones indicadas en planos.

Tabla 4.3. Estimación de la capacidad hidráulica (en l/s) de las cunetas del sector Sur y Norte, punto de drenaje 3.

N de Manning	Pendiente longitudinal (m/m)	
	0,00828	0,01623
0,012	1796	2515
0,013	1658	2321

Tabla 4.4. Valores estimados de flujo (l/s) en la cuneta del sector Sur, punto de drenaje 3.

Duración de la intensidad	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
5 minutos	652	732	938	1130
10 minutos	373	419	537	646

Para el caso del sector Norte, la capacidad hidráulica de las cunetas es la misma que en el sector Sur (Tabla 4.3). Sin embargo, el área de drenaje es menor por lo que la Tabla 4.5 muestra los valores estimados de flujo que podría tener que evacuar estas cunetas. Se desprende que las cunetas del sector Norte también tienen capacidad hidráulica adecuada para conducir la escorrentía producida en su zona de drenaje.

Tabla 4.5. Valores estimados de flujo (l/s) en cuneta del sector Norte punto de drenaje 3.

Duración de la intensidad	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
5 minutos	118	132	169	200
10 minutos	67	76	97	114

Los tragantes en sí mismos funcionan como estructuras de caída en donde las cunetas operan como canales de aproximación. Al tratarse de una caída vertical recta, en la cercanía del borde de la misma la profundidad del agua se puede aproximar como la profundidad crítica para el caso de flujo subcrítico, mientras que en el caso de flujo supercrítico como la profundidad normal. Para estos dos casos la profundidad crítica será siempre la mayor. De manera conservadora la capacidad de vertido de estas caídas se estima tomando como base una geometría rectangular y despreciando el efecto de las contracciones que puedan ocurrir en la cuneta así como también un flujo subcrítico. Las Tablas 4.6 y 4.7 muestran la estimación de profundidad crítica en las entradas de los tragantes para los caudales estimados (Tablas 4.4 y 4.5). Las embocaduras del tragante del sector Sur presentan aproximadamente un ancho de 100 cm y 43 cm de alto por lo que probablemente estas entradas tienen capacidad suficiente para admitir la mayoría de los caudales esperados, solo podría existir potencialmente capacidad insuficiente para los caudales más altos (938 l/s y 1130 l/s) los cuales tienen asociadas recurrencias de 25 y 50 años, respectivamente, y una duración de la intensidad de la lluvia de 5 minutos. Sin embargo, en la cercanía de la caída la rasante de la cuneta experimenta un aumento de pendiente, la cual probablemente es supercrítica, por lo que las profundidades esperadas en esa zona probablemente serán menores a la crítica y que se señalan en la Tablas 4.6 y 4.7. Consecuentemente es razonable considerar que las embocaduras del tragante del sector Sur tienen suficiente capacidad hidráulica para admitir los flujos esperados.

Por otra parte, las embocaduras del tragante del sector Norte tienen dimensiones de aproximadamente 90 cm de ancho y 60 cm de alto. Independientemente de estas dimensiones las profundidades estimadas en la cercanía del labio de la caída son menores a 30 cm, por lo que se puede estimar que dichas entradas tienen capacidad hidráulica suficiente. Más aún, presentan también el aumento de pendiente por lo que es de esperar profundidades menores.

Tabla 4.6 Profundidades críticas (en cm) estimadas a la entrada de los tragantes del Sector Sur.

Ancho de entrada (m)	Caudal (l/s)							
	373	419	537	646	652	732	938	1130
0,40	45	48	57	64	65	70	83	93
0,45	41	45	53	59	60	65	76	86
0,50	38	42	49	55	56	60	71	80
0,55	36	39	46	52	52	57	67	76
0,60	34	37	43	49	49	53	63	71
0,65	32	35	41	47	47	51	60	68
0,70	31	33	39	44	45	48	57	64
0,75	29	32	37	42	43	46	54	61
0,80	28	30	36	41	41	44	52	59
0,85	27	29	34	39	39	42	50	57
0,90	26	28	33	37	38	41	48	54
0,95	25	27	32	36	36	39	46	52
1,00	24	26	31	35	35	38	45	51

Tabla 4.7 Profundidades críticas (en cm) estimadas a la entrada de los tragantes del Sector Norte.

Ancho de entrada (m)	Caudal (l/s)							
	67	76	97	114	118	132	169	200
0,40	14	15	18	20	21	22	26	29
0,45	13	14	17	19	19	21	24	27
0,50	12	13	16	17	18	19	23	25
0,55	12	12	15	16	17	18	21	24
0,60	11	12	14	15	16	17	20	22
0,65	10	11	13	15	15	16	19	21
0,70	10	11	13	14	14	15	18	20
0,75	9	10	12	13	14	15	17	19
0,80	9	10	11	13	13	14	17	19
0,85	9	9	11	12	13	14	16	18
0,90	8	9	11	12	12	13	15	17
0,95	8	9	10	11	12	13	15	17
1,00	8	8	10	11	11	12	14	16

Se debe ser crítico sin embargo, que estas estimaciones suponen un flujo idealizado, es decir, libre de basura, de materiales flotantes, de detritos, obstrucciones en los canales así como un patrón de flujo inalterado, condiciones que no necesariamente se cumplen en campo, pero que son suposiciones típicas para el diseño. Por ello, son fundamentales la limpieza y el mantenimiento de las estructuras. Adicionalmente en la aproximación hacia los tragantes se pudo observar una disminución de la sección en conjunto con el aumento de pendiente (ver fotografía 20), esto podría ocasionar no solo el flujo supercrítico sino también un aumento de velocidad de flujo que podría contribuir a la limpieza de tramo aguas abajo. Aguas arriba, sin embargo, podrían ocurrir obstrucciones al flujo así como también pérdida de eficiencia en la caída vertical debido a la redistribución de las líneas de corriente.



Fotografía 20. Contracción y cambio de pendiente en la aproximación de los tragantes.

El tragante del sector Sur se drena por una tubería de concreto de 80 cm de diámetro y una pendiente de 1,00% (según planos), la cual se conecta al tragante del sector Norte (ver fotografías 15 y 13, respectivamente). Por su parte el agua que ingresa a este último tragante se drena también por una tubería de concreto de 80 cm de diámetro con una pendiente de 1,00%, la cual conduce el agua hacia el desfogue en el río Tres Amigos. Se debe indicar que el tragante del sector Sur debe evacuar el flujo de las dos cunetas ubicadas en ese sector, mientras que el tragante del sector Norte se debe evacuar la escorrentía de las dos cunetas del sector Norte más los flujos provenientes del tragante del sector Sur.

Considerando flujo a superficie libre, la Tabla 4.8 muestra la capacidad hidráulica de un tubo de 80 cm de diámetro para una pendiente de 1,00% y un coeficiente de resistencia al flujo de $n = 0,012$. En estas estimaciones se supone una descarga libre en el desfogue de la tubería, es decir, los niveles de agua en el río Tres Amigos son inferiores al nivel de rasante de la tubería en su cabezal de salida. Como se aprecia la capacidad hidráulica de la tubería oscila desde 1107 l/s hasta 1541 l/s, dependiendo de la resistencia al flujo empleada y de la relación de profundidad de flujo y diámetro de tubería. Por otra parte, los caudales a evacuar en cada tubería se muestran en la Tabla 4.9, en ella se puede apreciar que oscilan entre 746 l/s y 2659 l/s. Dependiendo de la selección de las condiciones las tuberías podrían ser capaces de evacuar los caudales. Es conveniente mencionar que en la Fotografía 21, tomada de un reporte de visita de inspección del CFIA (Viquez y Monge, 2017), se puede apreciar operando el desfogue de la tubería; se observa que el flujo ocurre en forma de chorro con una profundidad cercana al diámetro de la tubería.

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (Brown, 2009) recomienda que la frecuencia de diseño para secciones de depresión (puntos bajos) y pasos subterráneos, donde los charcos de agua pueden ser removidos únicamente por el sistema de desagüe pluvial, debe ser el evento con un periodo de retorno de 50 años. La Tabla 4.10 muestra los valores recomendados por este organismo para diferentes tipos de carretera. Al ser la carretera Chilamate-Vuelta Kooper una ruta nacional estratégica bidireccional de dos carriles es de esperar que los sistemas pluviales en puntos bajos sean diseñados para un periodo de retorno de 50 años.

Por otra parte, para el diseño de sistemas pluviales los profesionales en ingeniería utilizan comúnmente relaciones entre profundidad y diámetro de tubería (y/D) que oscilan entre 0,70 y 0,85, esto con el fin de que prevalezcan condiciones de flujo a superficie libre dentro del conducto.

Tabla 4.8. Capacidad hidráulica (en l/s) para un tubo de 80 cm de diámetro.
 Flujo a superficie libre y descarga libre.

Coef. resistencia	y/D	Pendiente longitudinal (m/m)
		0,01
0,012	0,70	1199
	0,75	1306
	0,80	1400
	0,85	1476
	0,90	1527
	0,938	1541
	0,95	1539
	1,00	1433

Tabla 4.9. Caudales (l/s) a evacuar en cada tramo de tubería.

Duración de la intensidad	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
Tramo: sector Sur - sector Norte				
5 minutos	1304	1464	1877	2259
10 minutos	746	837	1073	1292
Tramo: sector Norte - desfogue				
5 minutos	1539	1728	2215	2659
10 minutos	880	989	1267	1521

Tabla 4.10. Recomendación de frecuencia de diseño según Brown (2009).

Clasificación de la carretera	Frecuencia de diseño	
Alto tráfico, dividida o bi-direccional	< 70 km/h	10 años
	> 70 km/h	10 años
	Puntos bajos	50 años
Colectores, distribuidores	< 70 km/h	10 años
	> 70 km/h	10 años
	Puntos bajos	10 años
Calles locales	TPD bajo	5 años
	TPD alto	10 años
	Puntos bajos	10 años

Nota: TPD, tránsito promedio diario.

Tabla 4.11. Comparación entre capacidad hidráulica de las tuberías y caudales esperados a evacuar.

Duración de la tormenta	Tramo: sector Sur- sector Norte		Tramo: sector Norte-desfogue	
	Periodo de retorno (años)		Periodo de retorno (años)	
	10	50	10	50
5 minutos	✓	✗	✗	✗
10 minutos	✓	✓	✓	✗

Nota: ✓ capacidad hidráulica suficiente; ✗ capacidad hidráulica insuficiente.

La Tabla 4.11 muestra el resultado de comparar la capacidad hidráulica de las tuberías con los caudales esperados a evacuar. Esta comparación se realizó para los valores expresados en las Tabla 4.8 y 4.9 y una relación de y/D de 0,85 con el fin de maximizar el flujo. Se aprecia que la tubería que conecta los tragantes (sector Sur-sector Norte) tiene capacidad suficiente para un evento cuya frecuencia sea de 10 años. Para el caso de un evento de 50 años de periodo de retorno la tubería podría tener o no la capacidad de evacuar la escorrentía esperada dependiendo de la duración de la intensidad de lluvia seleccionada. En el caso de la tubería de descarga (sector norte-desfogue) se da una situación similar para el evento de 10 años de periodo de retorno. Sin embargo, esta conducción no tiene capacidad suficiente para un evento cuya frecuencia de ocurrencia sea de 50 años. Al encontrarse esta conducción aguas abajo de los tragantes, es importante señalar que si este tramo de tubería tiene capacidad hidráulica insuficiente, todo el sistema pluvial del punto 3 (21+900) tendrá también capacidad hidráulica insuficiente.

Desafortunadamente una comparación más certera entre la capacidad hidráulica de las tuberías y los caudales esperados no es factible ya que se desconocen los criterios de diseño indicados en el cartel de licitación, no se tiene topografía de detalle así como tampoco se tuvo acceso a las condiciones conforme a lo construido (planos "as built"). Adicionalmente, el país no cuenta con normativa referente a los sistemas hidráulicos de carreteras por lo que si los criterios hidráulicos no fueron incluidos en los términos de referencia, es poco factible determinar si se cumplió o no con lo solicitado así como si las estructuras son adecuadas o no.

El desfogue de la tubería se realiza en el río Tres Amigos, las Fotografías 21 y 22 muestran dicha estructura. La eficiencia hidráulica del desfogue y la capacidad hidráulica de la tubería proveniente de los tragantes dependen de las condiciones de nivel en el río Tres Amigos, es decir, si la tubería estará con descarga libre o con descarga ahogada. Para lograr determinar esto y sus efectos en la capacidad de la tubería se requiere realizar un estudio hidrológico e hidráulico específico para el río Tres Amigos. Sin embargo, se puede indicar que si la tubería funciona ahogada, su capacidad hidráulica será inferior a lo indicado en la Tabla 4.8.

De acuerdo con los planos el desfogue de la tubería se encuentra en la elevación 151,82 m mientras que el nivel del río Tres Amigos es de 154,35 m para un evento de 100 años de periodo de retorno. Es decir, es razonable suponer que la tubería funcionará de forma ahogada para un evento cuya frecuencia de ocurrencia sea de 100 años o superior.



Fotografía 21. Desfogue pluvial en operación.
 (Viquez y Monge, 2017)



Fotografía 22. Desfogue de la tubería en el río Tres Amigos.

4.5 Capacidad hidráulica del punto de drenaje 4

El punto de drenaje 4 vierte directamente sus aguas al río Tres Amigos. En el sector Sur (ver Fotografía 23) la cuenta existente al momento de la visita era en concreto con una forma trapezoidal. Su base es de aproximadamente 50 cm de ancho, taludes de 0,5H:1V y altura de 40 cm aproximadamente. En la Tabla 4.12 se presentan las estimaciones de su capacidad hidráulica considerando una profundidad normal de flujo máxima de 40 cm, es decir, justo antes de que se produzca derrame hacia el talud y el espaldón.

Tabla 4.12. Estimación de la capacidad hidráulica (en l/s)
 de la cuneta del sector Sur, punto de drenaje 4.

N de Manning	Pendiente longitudinal (m/m)						
	0,0010	0,0025	0,0050	0,0075	0,0100	0,0150	0,0200
0,010	178	281	398	487	562	689	795
0,012	148	234	331	406	469	574	663
0,014	127	201	284	348	402	492	568
0,016	111	176	248	304	351	430	497

Para la estimación de la producción de escurrimiento se utilizan las intensidades de lluvia de la estación 69661 Ciudad Quesada (ver §2.3) con duraciones de 5 y 10 minutos. La Tabla 4.13 muestra las estimaciones de producción de caudal para la cuneta del sector Sur.

Tabla 4.13. Valores estimados de flujo en la cuneta del sector Sur, punto de drenaje 4.

Duración de la intensidad	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
5 minutos	326	366	469	565
10 minutos	186	209	268	323

Como se desprende de la comparación de las Tablas 4.12 y 4.13 dependiendo de la escogencia de la duración de la intensidad de la lluvia, pendiente longitudinal de la cuneta y de la rugosidad de la misma la estructura podría tener o no capacidad hidráulica para evacuar el escurrimiento superficial esperado. Como se mencionó anteriormente este tipo de situación es, por lo general, resuelto con normativa nacional pertinente o bien mediante las especificaciones técnicas del cartel. Desafortunadamente Costa Rica no cuenta con normativa para el dimensionamiento hidráulico de obras en carreteras y tampoco se tuvo acceso al pliego de especificaciones técnicas del cartel de licitación.

Por su parte, la cuneta del sector Norte (ver Fotografía 24) es de forma triangular con un talud de aproximadamente 0,5H:1V en su cara externa y de 4H:1V en su cara interna. Se estima una altura máxima de 60 cm para su pared externa; para efectos de la estimación de caudal se utilizará una profundidad de flujo de 60 cm. La Tabla 4.14 presenta la estimación de la capacidad hidráulica de dicha cuneta. Las estimaciones de producción de escurrimiento se muestran en la Tabla 4.15. Se desprende fácilmente al observar estas dos tablas que la cuneta del sector Norte cuenta con capacidad hidráulica suficiente para evacuar la escorrentía que le llega.

Tabla 4.14 Estimación de la capacidad hidráulica (en l/s) de la cuneta del sector Norte, punto de drenaje 4

N de Manning	Pendiente longitudinal (m/m)						
	0,0010	0,0025	0,0050	0,0075	0,0100	0,0150	0,0200
0,010	848	1341	1897	2323	2683	3286	3794
0,012	707	1118	1581	1936	2236	2738	3162
0,014	606	958	1355	1659	1916	2347	2710
0,016	530	838	1186	1452	1677	2054	2371

Tabla 4.15. Valores estimados de flujo en cuneta del sector Norte, punto de drenaje 4.

Duración de la intensidad	Periodo de retorno (años)			
	5	10	25	50
5 minutos	59	66	85	100
10 minutos	34	38	48	57



Fotografía 23. Cuneta del sector Sur,
punto de drenaje 4.



Fotografía 24. Cuneta del sector Norte,
punto de drenaje 4.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Del trabajo realizado se obtienen las siguientes conclusiones:

- a) La alcantarilla ubicada en el estacionamiento 21+700 de la Ruta Nacional N° 4 presenta una capacidad hidráulica insuficiente para evacuar eficazmente las crecientes que se puedan presentar en la Quebrada.
- b) Debido a la falta de capacidad hidráulica de la alcantarilla en el estacionamiento 21+700, durante crecientes el agua probablemente se desborda y fluye por las cunetas hacia los tragantes (punto de drenaje 3), lo cual podría ocasionar el colapso de las cunetas, de los tragantes y de las tuberías pluviales. Como consecuencia de ello, la vía podría verse afectada por inundaciones.
- c) Es razonable considerar que las cunetas que encauzan las aguas hacia el punto de drenaje 3 (21+900) tienen capacidad suficiente para conducir la escorrentía esperada en su área de drenaje. De igual manera la embocadura de los tragantes tienen capacidad suficiente para aceptar los flujos esperados.
- d) Si se considera que la carretera Chilamate-Vuelta Kooper es una ruta nacional estratégica bidireccional de dos carriles y se acepta la recomendación de diseño de la Administración Federal de Carreteras de los EE. UU., el sistema de drenaje pluvial del punto 3 (21+900) tiene capacidad hidráulica insuficiente para evacuar la escorrentía esperada en su área de drenaje.
- e) Es de esperar que las estructuras que conducen la escorrentía hacia el punto de drenaje 4 tengan capacidad hidráulica suficiente para conducir adecuadamente las aguas.

Del trabajo realizado se obtienen las siguientes recomendaciones:

- i. Analizar las estructuras existentes del sistema de drenaje pluvial en el tramo en consideración utilizando los criterios de diseño hidráulico establecidos en el cartel de licitación de la obra así como en sus términos de referencia.
- ii. Construir cunetas de hormigón en la Ruta Nacional N° 250 con el fin de canalizar adecuadamente sus aguas pluviales.
- iii. Reparar el cabezal de entrada de la alcantarilla ubicada en el estacionamiento 21+700 así como eliminar la tubería de PVC que cruza la carretera a través del barril de la estructura.
- iv. En el tragante del sector Sur reubicar la escalera marinera y la escotilla de acceso con el fin de que no puedan producir obstrucciones al flujo. De igual manera eliminar los elementos que provocan la adhesión de materiales a la corona de los tubos.

- v. Reconponer las estructuras de drenaje del punto 4 y en especial las obras de caída al río Tres Amigos. Es importante considerar en estos trabajos la prevención de la erosión, por efecto de salpique del agua, en los terrenos aledaños.
- vi. Realizar el levantamiento topográfico de detalle de las estructuras del sistema de evacuación pluvial de la Ruta Nacional N° 4 en el tramo en consideración con el fin de poder realizar un análisis detallado del mismo.
- vii. Estudiar de manera conjunta las alcantarillas de las Rutas Nacionales N° 4 y N° 250 que se encuentran en el estacionamiento 21+500 con el fin de establecer sus curvas de desempeño y en caso de ser necesarias determinar las mejoras requeridas.
- viii. Analizar de manera conjunta las alcantarillas de las Rutas Nacionales N° 4 y N° 250 que se encuentran en el estacionamiento 21+700 con el fin de establecer sus curvas de desempeño así como de diseñar las mejoras requeridas.
- ix. Analizar detenidamente el sistema de evacuación pluvial del punto de drenaje 3 (21+900) con el fin de determinar las mejoras requeridas.
- x. Efectuar el estudio hidrológico e hidráulico del río Tres Amigos a la altura del cruce de la ruta Nacional N° 4 para determinar su influencia en el sistema de drenaje de la carretera Chilamate – Vuelta de Kooper.
- xi. Colocar un sistema de drenaje auxiliar que provea redundancia a los tragantes (21+900) ubicados en el tramo de carretera estudiado.
- xii. Construir pozos de registro en la tubería que lleva las aguas pluviales desde los tragantes hasta el desfogue en el río Tres Amigos con el fin de permitir su inspección y mantenimiento.
- xiii. Implementar un programa de limpieza de los sistemas pluviales de las carreteras nacionales.
- xiv. Establecer un programa de vigilancia de alcantarillas y cunetas así como realizar inspecciones periódicas con el fin de detectar oportunamente problemas de obstrucciones, socavación, erosión, desgaste o cualquier otra situación que pueda poner en peligro la integridad de las estructuras.
- xv. Solicitar en los carteles de licitación y términos de referencia la entrega de planos según lo construido (planos “as built”) de infraestructura a construir.
- xvi. Desarrollar normativa para el diseño hidráulico de estructuras de drenaje en carreteras.

Bibliografía

- ACPA. American Concrete Pipe Association. (2011). Concrete Pipe Design Manual. American Concrete Pipe Association. USA.
- Brown, S.A.; Schall, J.D.; Morris, J.L.; Doherty, C.L.; Stein, S.M.; Warner, J.C. (2009). Urban drainage design manual. Hydraulic Engineering Circular No 22. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-NHI-10-009, Third Edition. U.S.A.
- Chow, V.T. (1994). Hidrología Aplicada. McGraw Hill Interamericana S.A. Colombia.
- IGN. Instituto Geográfico Nacional. Hojas Cartográficas 1:50000. Hojas: Aguas Zarcas, Quesada.
- La Nación (2017). Carretera entre Chilamate y Vuelta Kooper se inunda un día después de su inauguración, <<http://www.nacion.com>> (24 de agosto, 2017).
- MOPT. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2017). Proyecto Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper, <<http://www.mopt.go.cr>> (18 de octubre, 2017).
- Norman, J.M., Houghtale, R.J. y Johnston, W.J. (2005). Hydraulic design of culverts. Report FHWA-NHI-01-020. HDS No 5. Federal Highway Administration. U.S.A.
- Rojas Morales, N. (2011). Curvas de duración intensidad frecuencia de algunas estaciones meteorológica automáticas. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.
- Schall, J.D.; Thompson, P.L.; Zerges, S.M.; Kilgore, R.T. and Morris, J.L. (2012). Hydraulic design of highway Culverts. Hydraulic Design Series Number 5. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-HIF-12-026, Third Edition. U.S.A.
- Viquez Mesén, G. y Monge Naranjo, K. (2017). Reporte de visita de inspección. IFN: I-359-2017-DSR. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. 29 de agosto de 2017.

Anexo

Correspondencia de estacionamientos

Estacionamiento en este informe	Estructura	Estacionamiento en planos	Estructura
21+500	Punto de drenaje 1, alcantarilla	21+636	Alcantarilla 81
21+700	Punto de drenaje 2, alcantarilla	21+830	Alcantarilla 82
21+870	Paso a desnivel	22+069,37	Paso a desnivel
21+900	Punto de drenaje 3, tragantes	22+139,223	Alcantarilla 82 a
22+100	Cambio de pendiente de cuentas	22+230	Cambio de pendiente de cuentas
22+200	Punto de drenaje 4 Inicio puente Río Tres Amigos	22+337,93	Inicio del puente Río Tres Amigos

Estimación de caudales del punto de drenaje 2

Punto de drenaje 2				
Estación 69661 Ciudad Quesada				
Intensidad de lluvia (mm/h)				
Duración	T (años)			
(minutos)	5	10	25	50
20	131	147	172	193
25	110	123	143	161
30	95	106	124	139
Área de drenaje	0,68 km ²			
	680000 m ²			
Coeficiente de escorrentía (semipermeable, pendiente suave)				
	T (años)			
	5	10	25	50
cultivos	0,45	0,45	0,50	0,54
Caudales estimados en m ³ /s				
Duración	T (años)			
(minutos)	5	10	25	50
20	11,2	12,5	16,1	19,7
25	9,3	10,5	13,4	16,4
30	8,0	9,0	11,6	14,2

Estimación de capacidad hidráulica en el punto de drenaje 3

Punto de drenaje 3				
Cuneta sector Sur				
Cuenta sector sur				
Ku	0,376			
Sx1	1 m/m	T1		0,5 m
Sx2	0,333 m/m	T2		1,5 m
Sx	0,25 m/m	T		2 m
Profundidad	0,5 m			
Capacidad hidráulica en l/s				
	n manning	SL		
		0,00828	0,01623	
	0,012	1796	2515	
	0,013	1658	2321	
Cuenta sector Norte				
Ku	0,376			
Sx1	1 m/m	T1		0,5 m
Sx2	0,333 m/m	T2		1,5 m
Sx	0,250 m	T		2 m
Profundidad	0,5 m			
Capacidad hidráulica en l/s				
	n manning	SL		
		0,00828	0,01623	
	0,012	1796	2515	
	0,013	1658	2321	

Estimación de caudales en el punto de drenaje 3

Estación Ciudad Quesada 69661. Intensidades de lluvia en mm/h						
Duración	Periodo de retorno (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5	401	450	525	589		
10	229	258	300	337		
Coeficiente de escurrimiento						
Sector Sur						
		Ancho (m)	área	Ancho (m)	área	Total área
largo	200m	Pavimento	(m2)	Cultivos	(m2)	(m2)
ancho	50m	7,5	1500	50	10000	11500
Periodo de retorno (años)						
	5	10	25	50		
pavimento	0,9	0,9	0,99	1		
cultivos	0,45	0,45	0,495	0,54		
C promedio	0,51	0,51	0,56	0,60		
Caudales estimados en litros/segundo						
Duración	Periodo de retorno (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5	652	732	938	1130		
10	373	419	537	646		

Coeficiente de escurrimiento						
Sector Norte						
		Ancho (m)	área	Ancho (m)	área	Total área
		Pavimento	(m2)	Cultivos	(m2)	(m2)
largo	200 m					
ancho	15 m	7,5	1500	15	3000	4500
Periodo de retorno (años)						
		5	10	25	50	
pavimento	0,9	0,9	0,99	1		
cultivos	0,45	0,45	0,495	0,54		
C promedio	0,23	0,23	0,26	0,27		
Caudales estimados en litros/segundo						
Duración	Periodo de retorno (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5 min	118	132	169	200		
10 min	67	76	97	114		

Estimación de profundidades críticas en el punto de drenaje 3

Sector sur								
profundidad crítica en cm en la embocadura del tragante								
ancho (m)	caudal (l/s)							
		373	419	537	646	652	732	938
0,40	45	48	57	64	65	70	83	93
0,45	41	45	53	59	60	65	76	86
0,50	38	42	49	55	56	60	71	80
0,55	36	39	46	52	52	57	67	76
0,60	34	37	43	49	49	53	63	71
0,65	32	35	41	47	47	51	60	68
0,70	31	33	39	44	45	48	57	64
0,75	29	32	37	42	43	46	54	61
0,80	28	30	36	41	41	44	52	59
0,85	27	29	34	39	39	42	50	57
0,90	26	28	33	37	38	41	48	54
0,95	25	27	32	36	36	39	46	52
1,00	24	26	31	35	35	38	45	51

Sector Norte								
profundidad crítica en cm en la embocadura del tragante								
ancho (m)	caudal (l/s)							
		67	76	97	114	118	132	169
0,40	14	15	18	20	21	22	26	29
0,45	13	14	17	19	19	21	24	27
0,50	12	13	16	17	18	19	23	25
0,55	12	12	15	16	17	18	21	24
0,60	11	12	14	15	16	17	20	22
0,65	10	11	13	15	15	16	19	21
0,70	10	11	13	14	14	15	18	20
0,75	9	10	12	13	14	15	17	19
0,80	9	10	11	13	13	14	17	19
0,85	9	9	11	12	13	14	16	18
0,90	8	9	11	12	12	13	15	17
0,95	8	9	10	11	12	13	15	17
1,00	8	8	10	11	11	12	14	16

Capacidad hidráulica de las tuberías en el punto de drenaje 3

Capacidad hidráulica de tubería				
Tubería 80 cm				
Y/d	S (m/)		Diámetro d	n
	0,01			
0,70	1199		0,80 m	
0,75	1306			
0,80	1400			0,012
0,85	1476			
0,90	1527			
0,938	1541			
0,95	1539			
1,00	1433			
Capacidad hidráulica de tubería				
Y/d	S (m/)		Diámetro d	n
	0,01			
0,70	1107		0,80 m	
0,75	1206			
0,80	1293			0,013
0,85	1363			
0,90	1409			
0,938	1422			
0,95	1421			
1,00	1322			

Caudales estimados en el punto de drenaje 3

Caudales (l/s) a evacuar en las tuberías				
Tubería Sur-Norte				
Duración (minutos)	T (años)			
	5	10	25	50
5	1304	1464	1877	2259
10	746	837	1073	1292
Tubería Norte-desfogue (río Tres Amigos)				
Duración (minutos)	T (años)			
	5	10	25	50
5	1539	1728	2215	2659
10	880	989	1267	1521

Capacidad hidráulica estimada en el punto de drenaje 4

Punto de drenaje 4							
Cuneta sector Sur				Profundidad	0,40 m		
Base	0,50 m			Área	0,2800 m ²	AR2/3	
talud	0,50 H:1V			Perimetro	1,3944 m	D	
				R	0,2008 m		
Capacidad hidráulica en l/s							
	Pendiente longitudinal						
n Manning	0,0010	0,0025	0,0050	0,0075	0,0100	0,0150	0,0200
0,010	178	281	398	487	562	689	795
0,012	148	234	331	406	469	574	663
0,014	127	201	284	348	402	492	568
0,016	111	176	248	304	351	430	497
Cuenta sector Norte							
Ku	0,376						
Sx1	0,50 m/m	T1	0,3 m				
Sx2	0,25 m/m	T2	2,4 m				
Sx	0,167 m/m	T	2,7 m				
Profundidad	0,60 m						
Capacidad hidráulica en l/s							
	Pendiente longitudinal						
n manning	0,0010	0,0025	0,0050	0,0075	0,0100	0,0150	0,0200
0,010	848	1341	1897	2323	2683	3286	3794
0,012	707	1118	1581	1936	2236	2738	3162
0,014	606	958	1355	1659	1916	2347	2710
0,016	530	838	1186	1452	1677	2054	2371

Caudales estimados en el punto de drenaje 4

Estación 69661 Ciudad Quesada						
Intensidad de lluvia (mm/h)						
Duración	T (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5	401	450	525	589		
10	229	258	300	337		
Sector Sur						
		Ancho (m)	área	Ancho (m)	área	Total área
largo	100 m	Pavimento	(m ²)	Cultivos	(m ²)	(m ²)
ancho	50 m	7,5	750	50	5000	5750
	Periodo de retorno (años)					
	5	10	25	50		
pavimento	0,9	0,9	0,99	1		
cultivos	0,45	0,45	0,495	0,54		
C promedio	0,51	0,51	0,56	0,60		
Caudales estimados en litros/segundo						
Duración	Periodo de retorno (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5	326	366	469	565		
10	186	209	268	323		

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos
 Carretera Chilamate – Vuelta de Kooper
 Tramo 21+700 al 22+200

Sector Norte		Ancho (m)	área	Ancho (m)	área	Total área
largo	100 m	Pavimento	(m ²)	Cultivos	(m ²)	(m ²)
ancho	15 m	7,5	750	15	1500	2250
Periodo de retorno (años)						
	5	10	25	50		
pavimento	0,9	0,9	0,99	1		
cultivos	0,45	0,45	0,495	0,54		
C promedio	0,23	0,23	0,26	0,27		
Caudales estimados en litros/segundo						
Duración	Periodo de retorno (años)					
(minutos)	5	10	25	50		
5	59	66	85	100		
10	34	38	48	57		