



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS
ESTRUCTURALES

INFORME DE ASESORÍA
INF-PITRA-006-2010

Revisión hidrológica e hidráulica de cinco puntos de la carretera nacional 27

Diciembre 2010

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Civil

Departamento de Hidráulica y Ambiental

Revisión hidrológica e hidráulica de cinco puntos de la carretera nacional 27

Ing. Rafael Murillo Muñoz, Ph.D.
Ing. Antonio Sánchez Fernández
Ing. Alberto Serrano Pacheco, Ph.D.

San Pedro - 3 de diciembre de 2010

Índice general

1	Introducción	1
2	Descripción climática	3
3	Análisis hidrológico	5
3.1	Descripción del método racional	5
3.1.1	Estimación del coeficiente de escorrentía	6
3.1.2	Determinación de las intensidades de precipitación	6
3.2	Análisis de lluvias recientes	9
3.2.1	Precipitaciones en 24 horas	10
3.2.2	Precipitaciones acumuladas en 5 días	12
4	Obras hidráulicas	13
4.1	Estacionamiento 36+150	13
4.2	Estacionamiento 38+700 (Poncho Mora)	15
4.3	Estacionamiento 44+850	18
4.4	Estacionamiento 45+250 (Paso Dantas)	20
4.5	Estacionamiento 46+800	22
5	Conclusiones	25
	Bibliografía	27

Índice de tablas

2.1	Características Climáticas Estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría. Fuente: <i>IMN</i>	4
3.1	Precipitaciones en el período de análisis para las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería. Fuente: <i>IMN</i>	11

Índice de figuras

2.1	Zonas climáticas de Costa Rica.	3
3.1	Mapa de precipitación mensual anual y localización de las estaciones en la zona de interés.	8
3.2	Precipitaciones promedio mensuales en las estaciones de interés. . .	8
3.3	Zona de influencia estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería.	9
3.4	Precipitación máxima en 24 horas para las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería (distribución Gumbel). Fuente: Murillo (1994).	10
3.5	Precipitación acumulada en 5 días en las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería.	12
4.1	Fotografías del estacionamiento 36+150, vista en dirección hacia San José.	13
4.2	Detalles de las contracunetas en el estacionamiento 36+150.	14
4.3	Alcantarilla constriuda para evacuar el agua de la quebrada Caño Grande.	14
4.4	Estructuras de disipación en el estacionamiento 36+150.	15
4.5	Problemas de deslizamientos en los taludes.	16
4.6	Humedad en los taludes.	16
4.7	Alcantarillas con problemas de mantenimiento.	16
4.8	Obra disipadoras en el estacionamiento 38+700.	17
4.9	Efectos del salpique debido al bloque disipador.	18
4.10	Final de rápidas en las alcantarillas.	18
4.11	Cabezal de entrada a alcantarilla.	19
4.12	Falta de protección en los taludes.	19
4.13	Acabados deficientes en las obras hidráulicas.	20
4.14	Vista hacia Caldera del punto conocido como Paso Dantas.	20
4.15	Problemas por la gran cantidad de material transportado por la erosión.	21
4.16	Problema en las contracunetas en el estacionamiento 45+250.	21
4.17	Medidas no estructurales para el control de la erosión.	22
4.18	Vista del relleno del estacionamiento 46+800.	22
4.19	Soluciones incompletas para el control de las aguas de escorrentía superficial.	23
4.20	Salida de la alcantarilla.	23

Introducción

El objetivo principal del presente informe es analizar el cumplimiento de especificaciones técnicas con respecto a temas que se consideran relevantes para garantizar el nivel de servicio y seguridad de los usuarios de la ruta nacional 27.

Este trabajo forma parte de una asesoría realizada para el Ministerio de Obras Públicas y Transporte *MOPT* que pretende analizar los aspectos hidrológicos e hidráulicos tomados en cuenta en las obras de la ruta nacional 27.

La construcción de la carretera inició el 09 de enero del 2008.

El proyecto está constituido por tres secciones:

1. San José – Ciudad Colón:

La construcción de este tramo dio inicio en Mayo del 2008, finalizando un año después en Mayo del 2009. Tiene una distancia de 14 kilómetros e implica el mejoramiento de la vía, en los cuatro carriles existentes (dos por cada sentido) y la ampliación a seis en el tramo comprendido entre los intercambios de Circunvalación y Multiplaza.

2. Ciudad Colón – Orotina

En enero del 2008 el Ministerio de Obras Públicas y Transportes giró la orden de inicio para la Sección II. De acuerdo con el contrato, se trata de un tramo nuevo de 38 km., el cual fue inaugurado en enero del 2010.

3. Orotina-Caldera

El inicio de las obras correspondientes a esta sección se dio en setiembre del año 2008 y su apertura se dio en el mes de mayo de 2009, abarcando el total de los 24 Km. del tramo existente que consta de dos carriles, uno por cada sentido.

En este trabajo se analiza los aspectos más relevantes desde el punto de vista de la hidrología e hidráulica de cinco puntos en el sector 2 de la ruta nacional 27.

La elección de estos puntos se realizó tomando en cuenta los problemas que se han presentado en los últimos meses. Los puntos analizados fueron: 36+150, 38+700 (conocido como Poncho Mora), 44+850, 45+250 (conocido como Paso Dantas) y 46+800.

Descripción climática

De acuerdo a las características que presenta el viento y su efecto directo en la distribución temporal de la precipitación en Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional *IMN* ha definido cinco regiones climáticas: Región Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Valle Central y la región Caribe y Norte del país, ver figura 2.1.



Figura 2.1: Zonas climáticas de Costa Rica.

La zona donde se ubica la carretera es una zona de transición entre el Valle Central y la Zona Pacífico Norte, por lo que se caracteriza por una estación seca prolongada, usualmente desde la segunda o tercera semana de noviembre hasta la segunda o tercera semana de mayo.

La topografía de la sección 2 de la carretera, es montañosa y dicha zona corres-

ponde al principal acceso de humedad al Valle Central, por lo que las precipitaciones usualmente se corresponden con las del sector oeste de éste.

En la tabla 2.1, se muestran las temperaturas y precipitaciones medias de la estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría que es característica de esa zona climática.

Tabla 2.1: *Características Climáticas Estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría. Fuente: IMN.*

Mes	Temperatura promedio		Precipitación Media (mm)
	Máxima (°C)	Mínima (°C)	
Enero	28,1	18,5	7,5
Febrero	28,9	18,4	14,9
Marzo	30,0	18,6	18,3
Abril	30,1	19,1	72,7
Mayo	28,9	19,0	300,6
Junio	28,3	18,8	211,6
Julio	28,3	18,9	148,9
Agosto	28,3	18,7	236,2
Setiembre	27,7	18,1	328,4
Octubre	27,2	18,4	323,2
Noviembre	27,4	18,4	164,8
Diciembre	27,8	18,4	39,3
Anual	28,4	18,6	1866,4

Los eventos de precipitación que pueden causar mayor problema sobre las estructuras hidráulicas de la carretera son los convectivos dada su alta intensidad y corta duración. Sin embargo, eventos de larga duración e intensidad moderadas podrían causar que los suelos se saturen y causar problemas de deslizamiento u otros.

Análisis hidrológico

De acuerdo al estudio hidrológico e hidráulico realizado por Ramírez (2004) para Autopistas del Sol, se utilizó el método racional para la determinación de los caudales para los drenajes menores de la carretera. Definiéndose, aunque no queda muy claro, como drenaje menor a toda aquella cuenca tributaria con un área menor a 3 km².

Adicionalmente, en dicho estudio se utilizaron la información de las estaciones 84001, San José, 84021, Aeropuerto Juan Santamaría y 78003, Puntarenas.

3.1. Descripción del método racional

En cuanto al método racional es probablemente el método más ampliamente utilizado hoy en día para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial. Se fundamenta en que si una lluvia de intensidad i empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará aumentando hasta que se llegue al tiempo de concentración t_c , tiempo en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad del lluvia y el área de la cuenca A es el caudal de entrada al sistema, iA , y la relación entre este caudal y el caudal pico Q (que ocurre en el tiempo de concentración) se conoce como coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$). Expresada matemáticamente quedaría:

$$Q = CiA \quad (3.1)$$

La duración utilizada para la determinación de la intensidad de precipitación de diseño i en la ecuación (3.1) es el tiempo de concentración de la cuenca t_c , más detalles ver Chow et al. (1994).

Las suposiciones asociadas con el método racional son, Monsalve (1999):

- La tasa de escorrentía pico calculada en el punto de salida de la cuenca es una función de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentración t_c . Esto quiere decir, que el cuadal pico no resulta de una lluvia más intensa, de menor duración, durante la cual solamente una porción de la cuenca contribuye a la escorrentía a la salida de ésta.
- El tiempo de concentración t_c empleado es el tiempo para que la escorrentía se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de entrada del alcantarillado que se está diseñando.
- La intensidad de lluvia i es constante durante toda la tormenta y uniforme en toda la cuenca.

Para este método se debe estimar el valor del coeficiente de escorrentía C . Esta es la variable menos precisa del método racional. Su uso implica una relación fija entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje. Una selección apropiada del coeficiente de escorrentía C requiere del conocimiento y la experiencia por parte del diseñador. La proporción de la precipitación total que alcanzarán los drenajes de tormenta depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y de las características de encharcamiento de la superficie de la cuenca.

3.1.1. Estimación del coeficiente de escorrentía

De acuerdo al estudio Ramírez (2004), para el diseño de las obras de alcantarillado, se utilizó valores de coeficiente de escorrentía C entre 0,37 a 0,40 según lo especificado en los planos. El periodo de retorno empleado para el diseño de las obras de evacuación de aguas pluviales fue de 25 años.

Para este periodo de retorno, cobertura vegetal (principalmente pastos) y pendiente de las laderas (superior a los 7 %) se estima que el valor correspondiente para el coeficiente de escorrentía C debería ser cercano a 0,50. Esto hace que el caudal estimado por Ramírez (2004) sea hasta un 25 % menor.

3.1.2. Determinación de las intensidades de precipitación

En el estudio realizado por Ramírez (2004) para Autopista del Sol, para la estimación de las intensidades de precipitación se utilizó el estudio realizado por Vahrson y Alfaro (1992). En este trabajo Vahrson y Alfaro (1992) realizaron una investigación del comportamiento de las tormentas en las ciudades más importantes de nuestro país (San José, Cartago, Alajuela, Puntarenas, Limón y Libería). Vahrson y Alfaro (1992) obtuvieron un registro de las intensidades desde 5 hasta

720 minutos y sus periodos de retorno de 2 hasta 200 años. Las estaciones utilizadas para el estudio fueron 84001, San José, 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, 81003, Limón, 73003, Cartago, 78003, Puntarenas, y 98024, Liberia. Con los registros pluviográficos y empleando métodos estadísticos, se obtuvieron ecuaciones de intensidad, duración y periodo de retorno para cada sitio en estudio.

Específicamente, para el diseño de las obras de alcantarillado el concesionario utilizó una ecuación similar a la encontrada por Vahrson y Alfaro (1992) para la estación 78003, Puntarenas. La ecuación empleada para el diseño es:

$$i = 175,65 - 29,58 \ln(d) + (34,05 - 5,32 \ln(d)) \ln(T) \quad (3.2)$$

donde i es la intensidad en mm/hr, d es la duración de la precipitación en minutos (este valor corresponde al tiempo de concentración t_c del área de drenaje), y T es el periodo de retorno en años (para el diseño se utilizó 25 años). La ecuación encontrada por Vahrson y Alfaro (1992) es la siguiente:

$$i = 175,645 - 29,5811 \ln(d) + (43,0524 - 5,32126 \ln(d)) \ln(T) \quad (3.3)$$

No existe evidencia en los planos y en el estudio realizado por Ramírez (2004) de donde se aclare esa diferencia entre las ecuaciones. Esta diferencia entre las ecuaciones, da como resultado que la intensidad utilizada en el diseño sea hasta un 14% menor que la obtenida Vahrson y Alfaro (1992). En los documentos del concesionario se mencionan las estaciones 84001, San José, y 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, sin embargo, no se realizó ninguna estimación con las mismas.

Un punto importante relacionado con la determinación de las intensidades en la zona de interés es que no se tomó en cuenta la información de la estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería. Esta estación tiene una mejor ubicación geográfica que la estación 78003, Puntarenas, e inclusive que la estaciones 84001, San José, y 84021, Aeropuerto Juan Santamaría.

Se considera que las estaciones meteorológicas 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84034, Embalse La Garita, son las más representativas de la sección 2 de la ruta 27 hasta el puente con el río Grande. A partir de ese punto, la estación meteorológica 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, es más cercana y dentro de la misma zona climática de esa sección de la carretera, ver figura 3.1.

En esta misma figura, se puede apreciar que las precipitaciones medias anuales de la estación 78003, Puntarenas, son menores que las de todo el trayecto del proyecto. Adicionalmente, se puede observar que la precipitación promedio mensual de la

estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, es mayor que la registrada en las estaciones 84001, San José, y 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, ver figura 3.2.

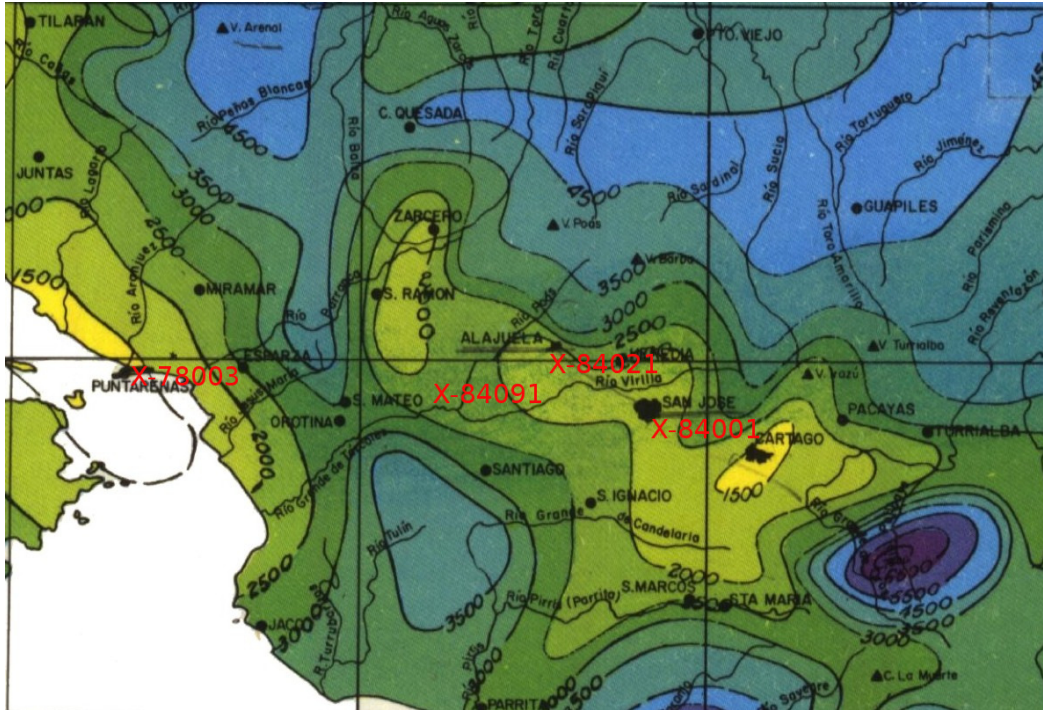
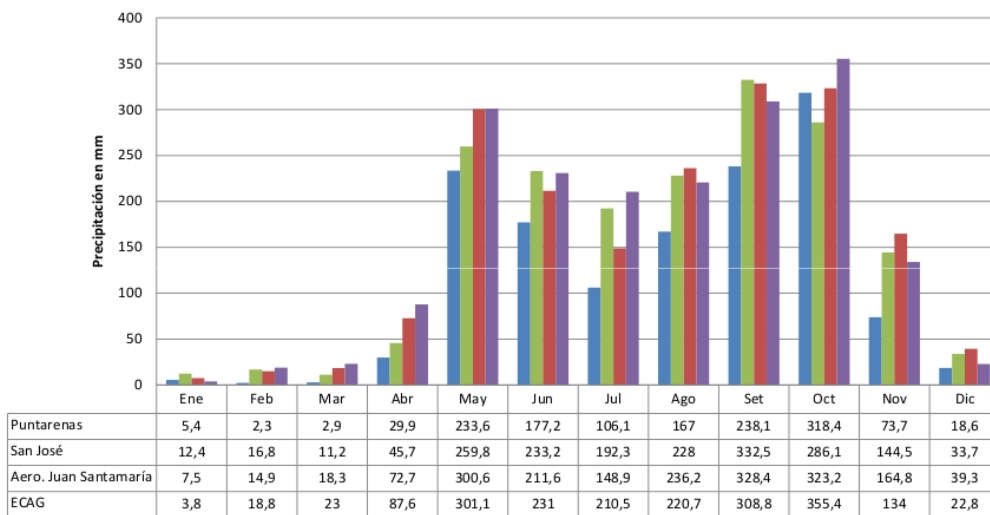


Figura 3.1: Mapa de precipitación mensual anual y localización de las estaciones en la zona de interés.



Fuente: IMN 2008

Figura 3.2: Precipitaciones promedio mensuales en las estaciones de interés.

En la figura 3.3, se muestra la ubicación de esta estación y se puede apreciar que

la sección de la carretera entre Río Grande de Atenas y Hacienda Vieja de Orotina se encuentran dentro de un radio de 10 km de distancia de dicha estación.



Figura 3.3: Zona de influencia estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería.

Adicionalmente, la magnitud del proyecto justificaba la realización de un estudio de intensidades específico para este proyecto considerando la información de las estaciones 84034, Embalse la Garita, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, entre otras. Otra deficiencia del estudio hidrológico es haber utilizado la ecuación de la intensidad obtenido para la estación 78003, Puntarenas, cuando se esta misma relación está disponibles para las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84034, Embalse la Garita. Estas estaciones habrían dado valores de intensidad de precipitación más realistas a las que se utilizaron para el diseño de la carretera.

Por lo tanto, se considera que las deficiencias cometidas en el análisis hidrológico hacen que los caudales estimados para las obras hidráulicas sean, en promedio, 30 % menores que los caudales que se podrían esperar para un periodo de retorno de 25 años. Esto quiere decir, que en realidad los caudales estimados por el concesionario para el diseño de las obras hidráulicas tienen un periodo de retorno de 10 años aproximadamente.

3.2. Análisis de lluvias recientes

Con el fin de determinar el periodo de retorno de los eventos de lluvia ocurridos desde la apertura de la carretera se realizó un análisis de frecuencia para las estaciones 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, y 84021, Aeropuerto Juan Santamaría. El resultado del análisis se muestra en la figura 3.4, donde se tiene la

precipitación máxima en 24 horas contra el período de retorno.

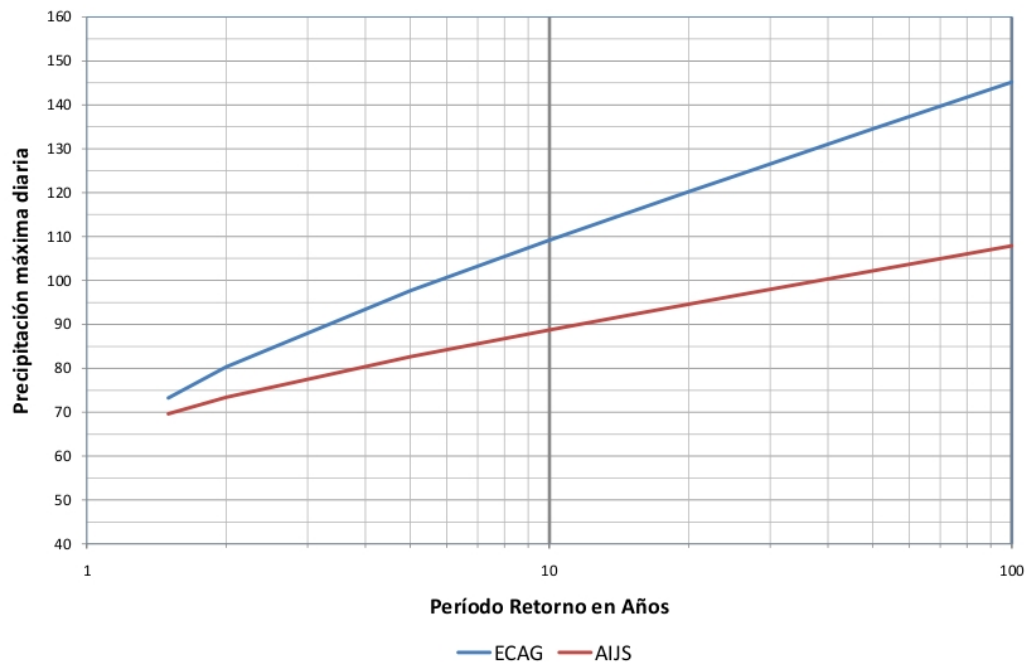


Figura 3.4: Precipitación máxima en 24 horas para las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería (distribución Gumbel). Fuente: Murillo (1994).

El análisis hidrológico es importante para para el diseño de obras hidráulicas y la protección de taludes y rellenos. En el primer caso, lo más importante son las intensidades de lluvia y, para el segundo caso, las intensidades y la humedad acumulada. Por este motivo, se realizará en este informe un análisis de precipitaciones en 24 horas y también un análisis de lluvia acumulada en 5 días que pueden dar una idea de la severidad de la lluvia a que estuvieron sometidas las obras construidas.

3.2.1. Precipitaciones en 24 horas

Revisando las precipitaciones en los meses de análisis, ver tablas 3.1, y estimado los períodos de retorno de las precipitaciones se aprecia que únicamente el día 28 de septiembre de 2010 se tuvieron precipitaciones que superan un período de retorno de 1,5 años que es el umbral del análisis. Para esa fecha la estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, registró un total de 103,7 mm en 24 horas y eso corresponde a un período de retorno de 50 años en dicha estación. En el caso de la estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, ese día se registró 68,3 mm de precipitación en 24 horas y eso corresponde a un evento con un período de retorno de 1,5 años aproximadamente, por lo que en promedio se esperaría una precipitación como esta

al menos 2 veces cada 3 años.

Tabla 3.1: Precipitaciones en el período de análisis para las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería. Fuente: IMN.

Día	Estación 84021				Estación 84091			
	Jun	Jul	Ago	Sept	Jun	Jul	Ago	Sept
1	1,4	0,0	8,0	16,4	1,2	9,4	2,2	9,7
2	2,7	10,0	0,2	3,3	4,0	44,5	0,0	11,4
3	19,5	0,2	0,0	11,6	58,4	3,0	0,0	17,6
4	0,0	1,9	0,0	9,3	0,0	30,6	0,0	3,0
5	0,1	0,5	26,4	2,5	0,0	0,0	59,0	35,5
6	2,8	32,5	7,2	2,6	0,0	40,4	29,0	0,0
7	0,0	14,3	18,1	26,2	7,3	8,3	3,3	0,0
8	5,7	0,0	12,9	38,9	45,4	0,0	23,0	33,8
9	6,2	12,9	1,2	0,3	4,4	7,2	0,3	0,0
10	10,0	22,0	2,3	1,6	6,5	47,7	0,3	0,0
11	3,7	20,2	2,3	19,5	26,0	12,8	12,5	5,4
12	23,2	0,0	5,3	21,1	2,3	0,3	2,8	18,8
13	3,4	22,6	0,2	31,8	1,2	10,0	0,3	44,8
14	9,5	0,1	1,6	9,3	40,4	0,0	0,0	0,0
15	16,9	0,2	8,7	0,0	4,1	0,7	10,4	0,0
16	15,1	3,7	0,0	16,6	30,7	4,4	0,0	21,2
17	0,0	3,3	4,4	6,2	0,0	22,4	0,0	3,2
18	15,3	0,5	0,0	52,6	8,4	1,3	0,0	40,6
19	0,3	3,7	5,1	1,1	1,0	2,5	10,2	11,4
20	44,6	52,6	19,3	40,2	37,8	42,3	20,6	46,3
21	1,8	5,6	0,3	20,8	8,8	2,4	1,4	11,8
22	2,0	41,9	3,5	17,7	0,0	7,5	2,7	32,0
23	0,0	1,6	10,4	10,9	0,0	0,0	1,4	36,7
24	1,3	1,9	32,5	6,3	0,0	12,6	20,2	36,2
25	13,6	10,4	23,9	4,8	29,2	7,3	9,3	21,4
26	8,7	2,0	22,6	8,5	0,4	5,2	20,3	17,2
27	2,3	7,2	26,4	10,9	2,2	6,4	17,8	11,0
28	0,4	1,0	29,8	103,7	23,8	30,2	23,5	68,3
29	10,0	4,8	12,8	47,5	11,8	3,5	7,5	20,6
30	2,5	8,4	0,1	9,2	16,7	0,0	0,1	0,0
31		3,1	13,9			0,9	1,2	
Totales	223,0	289,1	299,4	551,4	332,0	363,8	279,3	557,9
Promedio	211,6	148,9	236,2	328,4	231,0	210,5	220,7	308,8
Anomalía	5,4%	94,2%	26,8%	67,9%	43,7%	72,8%	26,6%	80,7%

Como puede apreciarse en la tabla 3.1, los valores de precipitación en 24 horas registrados, con una sola excepción, no excede lo estimado para el periodo de retorno utilizado en el diseño de las obras.

3.2.2. Precipitaciones acumuladas en 5 días

Como se muestra en la tabla 3.1, el año 2010 se ha caracterizado por lluvias sobre el promedio, tanto en la región Pacífico Norte como en el Valle Central. En los meses de análisis sobresalen los meses de julio y septiembre con anomalías sobre el promedio que superan en 65 %, llegándose incluso a una anomalía climática del 94 % para el mes de julio en la Estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría.

También puede apreciarse que en la estación 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería, se produjeron en este período 20 eventos que superaron los 30 mm de precipitación diaria, lo que evidencia que la zona ha estado sometida a humedad continua.

En la figura 3.5, se muestra la precipitación acumulada en los 5 días anteriores o Índice de Humedad Antecedente *IHA* tanto en el Aeropuerto Juan Santamaría como en la Escuela Centroamericana de Ganadería. Puede apreciarse que dicho índice se mantuvo por encima de 25 mm la mayoría del tiempo. Sin embargo, para la zona en estudio, valores de humedad hasta 55 mm en 5 días pueden considerarse como normales.

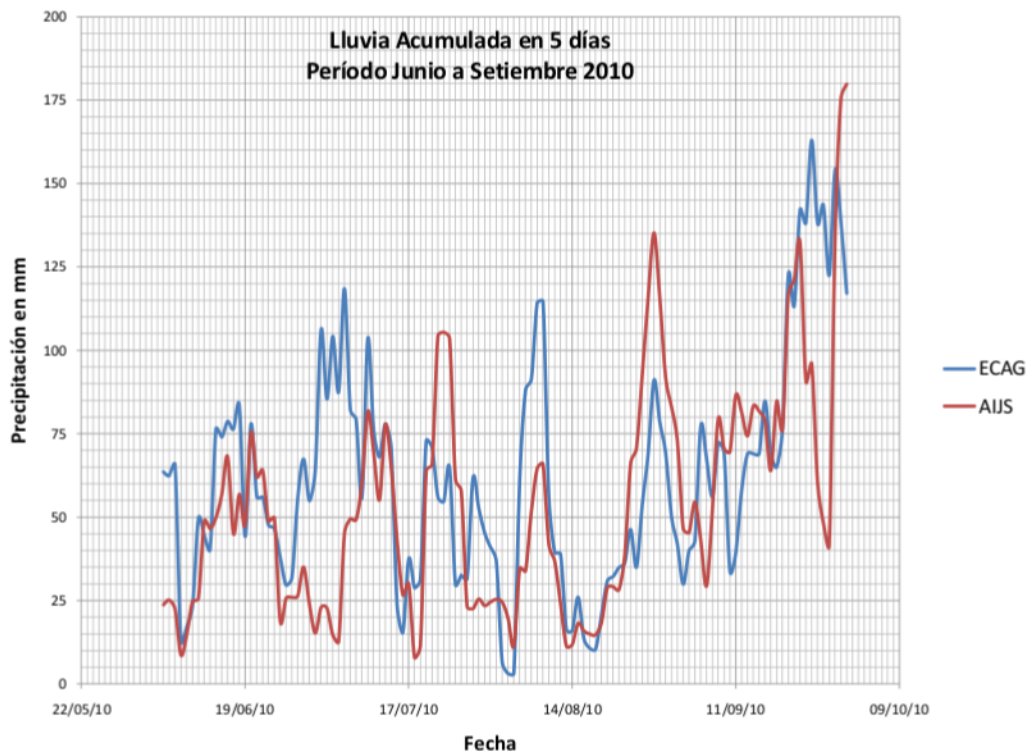


Figura 3.5: Precipitación acumulada en 5 días en las estaciones 84021, Aeropuerto Juan Santamaría, y 84091, Escuela Centroamericana de Ganadería.

Obras hidráulicas

A continuación se brinda un análisis de las obras hidráulicas construidas en los diferentes puntos estudiados. Es importante mencionar que se han encontrado algunas de éstas que no se encuentran en los planos suministrados.

4.1. Estacionamiento 36+150

En este punto se tiene un talud de corte. Dicho talud ha presentado problemas en cuanto a su estabilidad como se puede observar en la figura 4.1.



(a) Vista hacia San José.

(b) Vista frontal del talud.

Figura 4.1: Fotografías del estacionamiento 36+150, vista en dirección hacia San José.

Como se puede observar en la figura 4.1(b), no se presenta ningún elemento para el control de erosión.

En la figura 4.2, se puede apreciar deficiencias con respecto a la construcción de las contracunetas. En la figura 4.2(a), se puede observar que la unión entre dos contracunetas no está a nivel, En la figura 4.2(b), se puede ver que la contracuneta no cuenta con revestimiento, adicionalmente, la pendiente transversal de la terraza transportaría el agua hacia la contracuneta no revestida y esto haría que el agua se

infilte y sature el talud, lo cual podría afectar la estabilidad del talud. Es importante mencionar que en los planos suministrados no se presenta ninguna descripción ni información de las contracunetas.



(a) Alineación inadecuada.



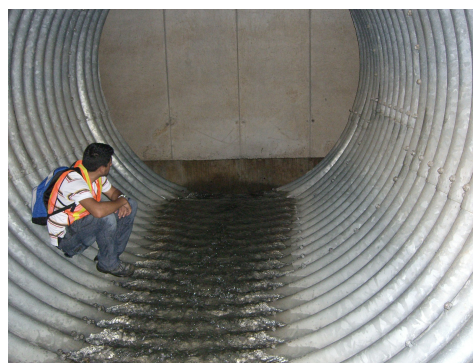
(b) Contracuneta sin revestimiento.

Figura 4.2: *Detalles de las contracunetas en el estacionamiento 36+150.*

Un aspecto importante a considerar en este estacionamiento, es la alcantarilla de 3,05 m de diámetro construida para evacuar el agua de la quebrada Caño Grande, la entrada a la misma se muestra en la figura 4.3(a). En los planos de la carretera y el estudio hidrológico de Ramírez (2004), se muestra la alcantarilla que atraviesa todo el relleno. Sin embargo, como a unos 60 m una vez que se ingresa a la misma, se encuentra un pozo, ver figura 4.3(b). Este es un punto interesante, debido a que no se tiene ninguna especificación de este detalle. Como se aprecia de la figura, gran parte del área de flujo de la alcantarilla está obstruida por una viga de concreto. Esta condición podría generar problemas durante una creciente como: pérdida de capacidad hidráulica de la alcantarilla, presurización del flujo, deficiente disipación de energía y vibraciones en el pozo e inclusive cavitación. Hay que recordar que la línea del tren se encuentra muy cerca del pie del relleno en este punto.



(a) Alcantarilla de 3,05 m de diámetro, quebrada Caño Grande.



(b) Final de la alcantarilla quebrada Caño Grande.

Figura 4.3: *Alcantarilla construida para evacuar el agua de la quebrada Caño Grande.*

En este punto se tienen obras de disipación de energía las cuales no se detallan en los planos. Uno de los principales problemas de las obras de disipación utilizadas, bloques disipadores, es el salpique que se genera a la hora de que el agua golpea éstos. Como se puede ver en la figura 4.4, este condición ha provocado erosión en las zonas adyacentes de los canales, que ha obligado a protegerlas después de su construcción. Este fenómeno también se puede apreciar en los otros puntos estudiados.

En términos generales, y esto se repite en los demás puntos, el acabado de las obras hidráulicas es deficiente.



(a) Efectos del salpique de las obras.

(b) Bloques disipadores, detalle de salpique.

Figura 4.4: *Estructuras de disipación en el estacionamiento 36+150.*

4.2. Estacionamiento 38+700 (Poncho Mora)

Este punto es conocido como Poncho Mora y es una obra de relleno. Este relleno ha presentado problemas de deformaciones importantes, así como problemas en los taludes.

Como se puede apreciar en la figura 4.5(b), en el talud se presenta gran humedad. Esta humedad podría disminuir la estabilidad del mismo si no es manejada adecuadamente. La falla del talud observada provocó que las estructuras que se construyeron en el mismo fueran destruidas, un ejemplo de esto se muestra en la figura 4.5(a).

Para evitar los problemas de humedad en el talud, ver figura 4.6(a), se observaron medidas para su control. Sin embargo, de lo que se aprecia en el campo, dichas medidas son insuficientes, ver figura 4.6(b).

En las figuras 4.7(a) y 4.7(b), se puede apreciar la falta de mantenimiento, ya que gran parte del área de flujo se encuentra obstruida por el material que acarrea



(a) Contracuneta destruida por el deslizamiento.



(b) Humedad en el talud.

Figura 4.5: *Problemas de deslizamientos en los taludes.*



(a) Humedad presente en los taludes.



(b) Drenaje para disminuir la humedad en los taludes.

Figura 4.6: *Humedad en los taludes.*

la corriente.



(a) Alcantarilla obstruida por el material.



(b) Vista a la salida de alcantarilla obstruida.

Figura 4.7: *Alcantarillas con problemas de mantenimiento.*

Con relación a las obras disipadoras de energía, éstas se considera que no siguen ningún criterio de diseño convencional. Adicionalmente, al igual que sucede en el punto anterior, el efecto del salpique provoca que el gran cantidad de agua sea forzada a salir del canal provocando erosión en las márgenes de los mismos, ver figura 4.8(a). Este mismo efecto se puede apreciar mejor en la figura 4.9, donde se observa las marcas del agua que es forzada por la estructura disipadora a salir de la cuneta. Cabe la posibilidad que el salpique pueda también afectar a los conductores que transiten por la zona. En cuanto a los disipadores en gradadas, no se encuentran detallados en planos, y su diseño, como ya se mencionó, es poco convencional, ver figura 4.8(b).



(a) Bloques disipadores en el relleno.

(b) Obra disipadora en gradadas en el talud.

Figura 4.8: *Obra disipadoras en el estacionamiento 38+700.*

Otro aspecto importante desde el punto de vista hidráulico, la localización de los desfuegos de las alcatarillas en las partes medias y altas de los terraplenes como se aprecia en la figuras 4.10(a) y 4.10(b). Desde el punto de vista hidráulico, ésto no es recomendable pues la deformación del relleno podría dañar las tuberías y producir pérdida de capacidad de las mismas. La vibración de la disipación en el cabezal, adicionalmente, podría povocar deformaciones locales en el mismo, así como erosión producto del salpique.

Además, se requiere de otra estructura de disipación para evitar erosión en ese punto. Esta condición podría generar la erosión en el pie del talud y con ello el fallo del mismo.

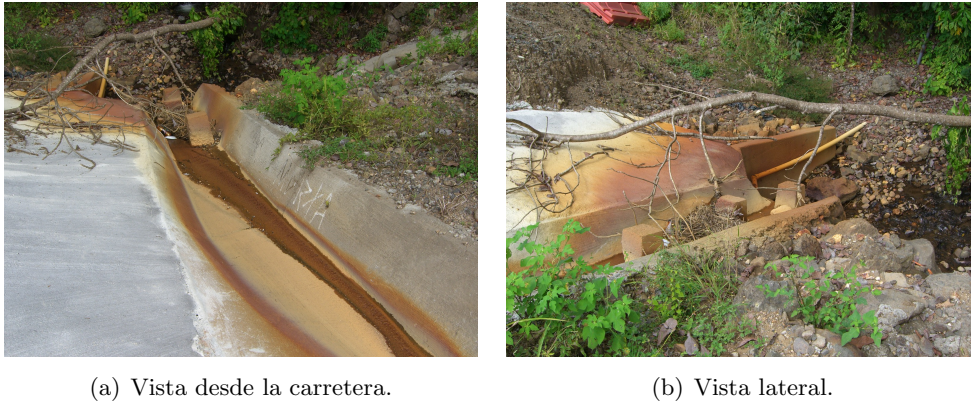


Figura 4.9: *Efectos del salpique debido al bloque disipador.*

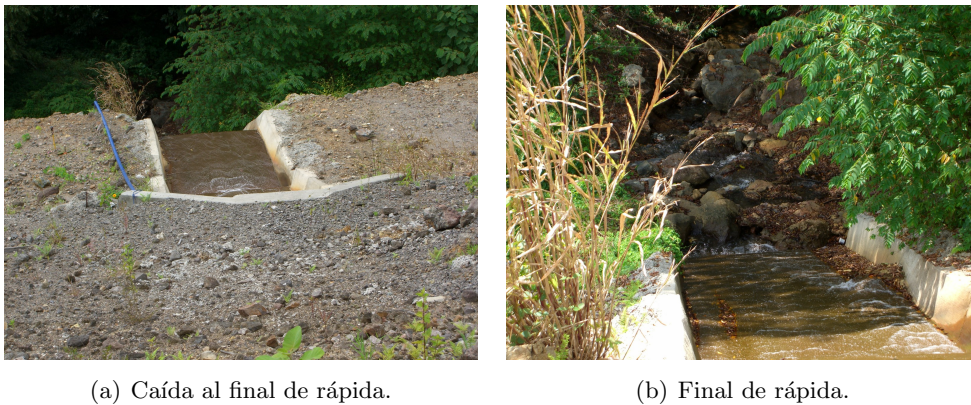


Figura 4.10: *Final de rápidas en las alcantarillas.*

4.3. Estacionamiento 44+850

Es punto corresponde a un talud de corte que ha presentado problemas importantes en los últimos meses.

Además de los problemas identificados en los puntos anteriores, aquí se presenta deficiencias constructivas en los cabezales de entrada de alcantarillas. Como se aprecia en la figura 4.13(a), el cabezal de entrada es cuadrado, esto complica la entrada del agua hacia la alcantarilla. Otro problema adicional de este cabezal, es la generación de turbulencia a la entrada, lo que ha provocado erosión alrededor de la estructura, como se aprecia en las figuras 4.13(b) y 4.11(c).

En la figura 4.12, se puede apreciar la falta de medidas de protección contra erosión laminar producto del agua. Esto ponen en riesgo la estabilidad del mismo y podría llevarlo a la falla.



(a) Cabezal inadecuado de entrada.



(b) Erosión presentada lado derecho.



(c) Erosión presentada lado izquierdo.

Figura 4.11: *Cabezal de entrada a alcantarilla.*



Figura 4.12: *Falta de protección en los taludes.*

Al igual que en los otros puntos, se observan acabados deficientes en las obras hidráulicas, esto se puede apreciar en las alcantarillas mostradas en la figura 4.13.



(a) Entrada de alcantarilla.

(b) Salida de alcantarilla.

Figura 4.13: *Acabados deficientes en las obras hidráulicas.*

4.4. Estacionamiento 45+250 (Paso Dantas)

Este punto conocido como Paso Dantas, es un paso de corte y relleno. La erosión en los taludes en este punto es importante, como se puede ver en la figura 4.14. En esta figura, se aprecia la gran cantidad de material que se ha deslizado, poniendo en peligro la carretera.



(a) Problemas en los taludes.

(b) Vista del deslizamiento.

Figura 4.14: *Vista hacia Caldera del punto conocido como Paso Dantas.*

Otro problema debido a la gran cantidad de material que se desliza de los taludes

es el colapso de cualquier estructura para la evacuación de aguas. Como se puede observar en la figura 4.15(a), donde la alcantarilla está totalmente llena de material proveniente de la erosión del talud, dicho material se aprecia en la figura 4.15(b).



(a) Alcantarilla colapsada por el material transportado. (b) Material transportado por la erosión en los taludes.

Figura 4.15: *Problemas por la gran cantidad de material transportado por la erosión.*

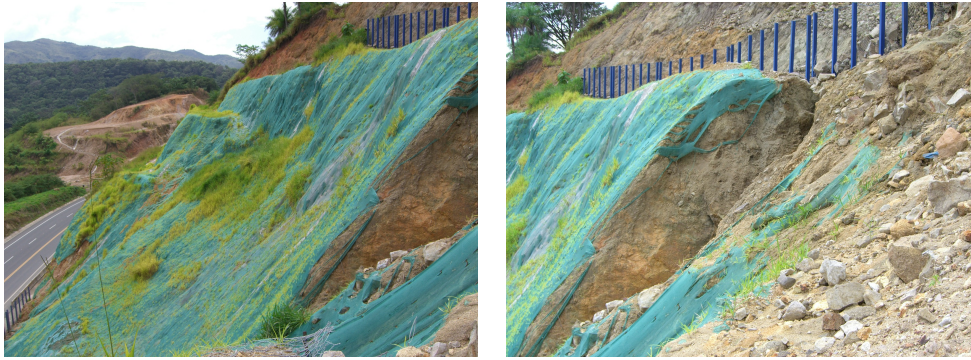
Para proteger a los usuarios que viajan por la carretera, se han construido mallas o barreras para evitar que una roca de importante magnitud caiga en ésta. Las contracunetas fueron construidas en la parte interior inmediatamente a la par de éstas. Esto hace que el material que cae de las laderas colmate las contracunetas reduciendo su capacidad para evacuar el agua del talud. Ésto se puede observar en la figura 4.16.



(a) Ubicación de las contracunetas detrás de la barrera. (b) Colmatación en las contracunetas debido a la caída de material.

Figura 4.16: *Problema en las contracunetas en el estacionamiento 45+250.*

Como una medida no estructural para el control de la erosión, se ha colocado un geotextil y se ha tratado de regenerar la vegetación, para que ésto ayude a disminuir la erosión laminar, ver figuras 4.17(a) y 4.17(b). Sin embargo, esto no se ha aplicado en todo el talud y parece ser una medida insuficiente, debido a las pendientes presentes en el mismo.



(a) Geotextil colocado en el talud.

(b) Geotextil dañado por el movimiento de la tierra.

Figura 4.17: Medidas no estructurales para el control de la erosión.

4.5. Estacionamiento 46+800

Este punto es uno de los más conflictivos del proyecto. Actualmente, tiene dos puentes tipo Bailey para que los vehículos puedan viajar en la carretera, ver figura 4.18. Detalles constructivos de este punto no se pudieron encontrar en planos. Adicionalmente, el daño en el relleno no permite apreciar la presencia de obras tanto de disipación de energía, como de protección del talud.



Figura 4.18: Vista del relleno del estacionamiento 46+800.

Como se mencionó anteriormente, no se evidencia estructuras adecuadas como disipadores de energía, como se puede observar en la figura 4.19. Como se puede ver

en la figura, el agua que es evacuada por la rápida, se deja que fluya por el talud sin disipar su energía, por lo que los problemas de erosión son evidentes, ver figura 4.19(b).



(a) Rápida para la evacuación de aguas de es-

(b) Ausencia de una obra disipadora de energía.

Figura 4.19: *Soluciones incompletas para el control de las aguas de escorrentía superficial.*

En la figura 4.20, se puede observar que la salida de la alcantarilla se encuentra en la parte superior del relleno. Como ya se mencionó, esta práctica no es recomendable desde el punto de vista hidráulico, dado que cualquier asentamiento que se pueda presentar en el relleno, podrían dañar la alcantarilla.



Figura 4.20: *Salida de la alcantarilla.*

Conclusiones

Dentro de las conclusiones del trabajo se deben mencionar:

- Dada la magnitud del proyecto se debió realizar un estudio de intensidades de precipitación específico para la zona del mismo, utilizando las estaciones disponibles de acuerdo a su ubicación geográfica.
- El estudio hidrológico realizado por Ramírez (2004) presenta deficiencias en la estimación de los coeficientes de escorrentía y los valores de intensidades de precipitación. Esto provoca que los periodos de retorno para el diseño de las obras se reduzcan a 10 años aproximadamente.
- Del estudio de precipitaciones de eventos registrados en el año 2010, no hay evidencia de valores extremos cercanos al periodo de retorno de 25 años, con la única excepción del 29 de septiembre en la estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría.
- La colocación de cunetas y contracunetas no obedece a una planificación sistemática y criterios de ingeniería sino más bien al resultado de la oportunidad y las situaciones inesperadas
- El acabado de las cunetas/contracunetas es deficiente en muchas oportunidades y parece no obedecer a un criterio de ingeniería (hidráulico o estructural). En algunas oportunidades no son revestidas lo cual podría ser perjudicial pues eventualmente facilitaría la infiltración y saturación de los taludes con el consecuente peligro.
- Los alineamientos y conexiones (confluencias) entre las cunetas/contracunetas no es el adecuado en muchas oportunidades lo cual podría producir socavación localizada
- Los dissipadores de energía y estructuras de control podrían no estar bien dimensionadas o mal ubicados, es decir, la proyección de la obras no es la adecuada. Por esto, podrían más bien estar provocando erosión y socavación localizada en algunos sitios

- En términos generales, se evidencia una falta de mantenimiento, muchas cunetas/contracunetas están llenas de sedimento
- La aplicación de técnicas de control de erosión mínimas o inexistentes.
- La salida de las alcantarillas (a medio talud) es problemática por la posibilidad de falla debido a asentamientos y deformaciones del talud, que podrían causar daños en la alcantarilla. Dichos daños podrían ser: reducción de su capacidad hidráulica, ruptura de la misma que causaría saturación el relleno y, eventualmente, podría causar el fallo del mismo, entre otros.
- Cabezales mal alineados y socavación de las márgenes de la carretera.
- Falta de mantenimiento, alcantarillas obstruidas con sedimento o totalmente enterradas

Bibliografía

- V. Chow, D. Maidment, y L. Mays. *Hidrología aplicada*. Colombia. McGraw Hill Interamericana S.A., 1994. 5
- G. Monsalve. *Hidrología en la ingeniería*. México. Alfaomega Grupo Editor S.A., 1999. 5
- R. Murillo. Estudio de intensidades de lluvia en la cuenca del río Virilla. San Pedro, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1994. v, 10
- G. Ramírez. Hidrología e hidráulica proyecto San José - Caldera. San José, Costa Rica, 2004. 5, 6, 7, 14, 25
- W. Vahrson y M. Alfaro. Las intensidades máximas de las tormentas en los centros urbanos más importantes de Costa Rica. Heredia, costa rica, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, 1992. 6, 7