Anexo 6: Informe hidrológico

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

TRAMO GUADALUPE – Río Carapa – Pto Adela

Verificación de Puentes

Progresiva 1+846

Progresiva 17+267

Progresiva 22 +655.

PTO ADELA – CANINDEYÚ

Octubre 2020

Ing. MSc. Alberto Grissetti

Registro Profesional M.O.P.C. N° 2224

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

1 Contenido

1 INTRODUCCIÓN 3
2 METODOLOGÍA EMPLEADA 3
2.1 Datos Utilizados 3
2.2 Actividades Realizadas 3
3 MODELO HIDROLÓGICO 4
3.1 Ubicaciones de las obras sobre el tramo construido 4
Río Carapa 4
Arroyo Reina 4
Arroyo sin nombre 4
3.2 Características de la Cuenca 4
Cuenca Río Carapá hasta la Progresiva 1+846 6
Cuenca Arroyo la reina hasta la Progresiva 17+267 6
Cuenca arroyo sin nombre hasta la Progresiva 22 + 655 6
3.3 Cálculo de la Infiltración 6
3.4 Tiempo de Concentración 9
3.5 Tiempo de Retorno y Precipitación de Diseño 10
3.6 Caudales de Diseño 14
Cuenca Río Carapá hasta la Progresiva 1+846 19
Cuenca Arroyo la reina hasta la Progresiva 17+267 19
Cuenca arroyo sin nombre hasta la Progresiva 22 + 655 20
4 MODELO HIDRÁULICO 22
4.1 Método utilizado 22
4.2 Secciones Transversales 22
4.3 Condiciones de cálculo y parámetros hidráulicos 23
4.4 Salidas de la Simulación 28
5 RECOMENDACIONES FINALES 41

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

(setenta) **70**

49.
(cuarenta y nueve)

1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo la determinación de los caudales generados en cada cuenca y posterior dimensionamiento de puentes y/o alcantarillas. Para el análisis se utilizan modelos matemáticos de simulación hidrológica e hidráulica. Los cálculos se realizan de acuerdo al Manual de Carreteras del Paraguay (MOPC, 2019). El estudio se rige además por los criterios establecidos en el Manual de Drenagem de Rodovias, DNIT, Brasil.

2 METODOLOGÍA EMPLEADA

2.1 Datos Utilizados

Los modelos hidrológicos e hidráulicos requieren datos, tanto físicos como temporales, para representar adecuadamente el fenómeno modelado en el sitio de estudio. Se utilizaron los siguientes datos:

- Modelo Digital de Elevación (DEM), del satélite ALOS-PALSAR, con resolución espacial de 12.5m x 12.5m.
- Imágenes satelitales de Google Earth georreferenciadas.
- Mapas digitales de la DGEEC (vías, cauces) producidos en base a las ortofotocartas de 1994, del Servicio Nacional de Catastro, con resolución espacial de 0,30 metros.
- Curvas de nivel cada 10m de las ortofotocartas del vuelo 1994 (CEITE, 1997).
- Curvas IDF desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la UNA / DINAC y actualizada al año 2009 por Cuevas-Rolón.
- Imágenes Satelitales del año 2020, del satélite LANDSAT 8, con resolución espacial de 30m x 30m.
- Relevamiento topográfico.

2.2 Actividades Realizadas

- Preparación de la cartografía base del área de estudio.
- Delimitación de cuencas, a partir del DEM. Definición de la red de drenaje y determinación de datos geomorfológicos (pendiente, ancho, superficie, etc.)
- Definición del uso y tipo de suelo: Los mapas de uso de suelo se elaboran en base a información digital disponible.
- Cálculo del tiempo de concentración y definición de la precipitación de diseño, según la distribución temporal adoptada.
- Implementación del método del Hidrograma Unitario Triangular de la SCS para cálculo de caudales.
- Implementación del modelo hidráulico HEC-RAS (USACE) para dimensionamiento y verificación del puente.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

3 MODELO HIDROLÓGICO

En el presente capítulo se describe brevemente los parámetros empleados para el cálculo de los caudales generados en las cuencas para su posterior estudio hidráulico.

3.1 Ubicaciones de las obras sobre el tramo construido.

Río Carapa

Puente: **Prog. 1+846**

Localidad: **Puerto Adela** Distrito: **Puerto Adela** Departamento: **Canindeyú**

Coordenadas (UTM 21J): x= **757028 m E** y= **7.311.673 m S**

Arroyo Reina

Puente: **Prog. 17 +267**

Localidad: **Puerto Adela** Distrito: **Puerto Adela** Departamento: **Canindeyú**

Coordenadas (UTM 21J): x= **758.746 m E** y= **7.300.507 m S**

Arroyo sin nombre

Puente: **Prog. 22+655**

Localidad: **Puerto Adela** Distrito: **Puerto Adela** Departamento: **Canindeyú**

Coordenadas (UTM 21J): x= **762.623 m E** y= **7.296.916 m S**

3.2 Características de la Cuenca

En primer lugar, se procede a la delimitación de las cuencas. Para ello a partir del Modelo de Elevación se han generado curvas de nivel con una equidistancia de 10 m que servirán como base para el geoprocesamiento. Una vez determinadas las cuencas han sido verificadas con las curvas de nivel de las Ortofotocartas y modificadas en caso de ser necesario.

En la siguiente figura se muestra las cuencas delimitadas en color rojo y los cauces en color azul.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

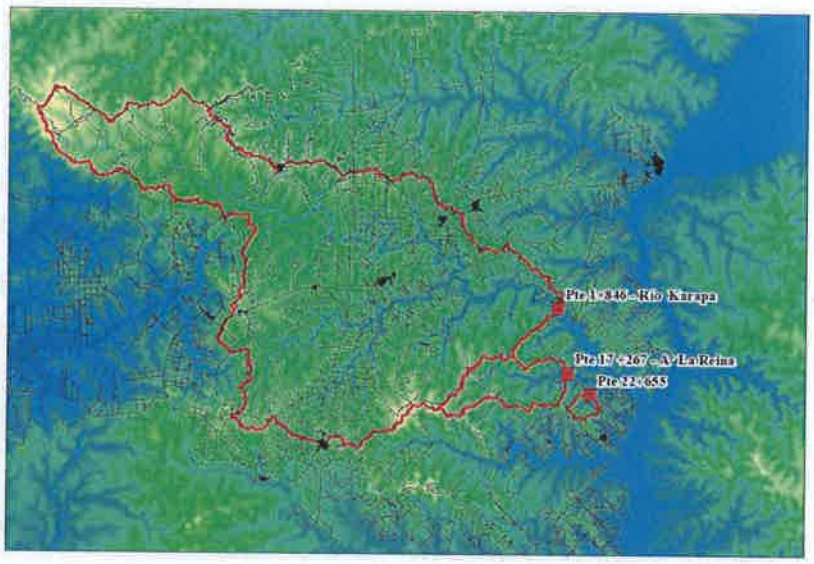

Figura 1: Modelo Digital de Elevación.

Para determinar los parámetros necesarios para el cálculo del caudal, se realiza un geoprocesamiento, utilizando como dato de entrada el DEM. En la Figura 1 se observa el modelo de elevación, los colores del fondo representan el desnivel topográfico de las cuencas.

En la Figura 2 se observa una imagen satelital de la cuenca (rojo).

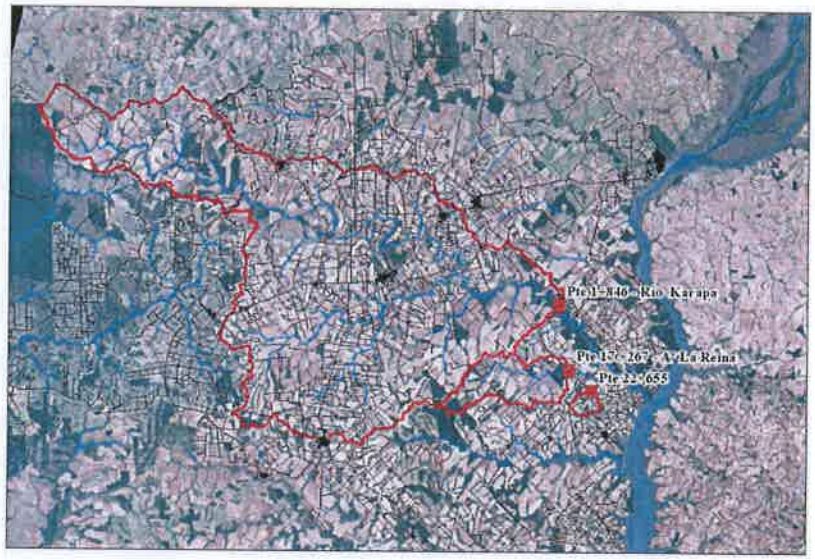

Figura 2: Imagen Satelital de las Cuencas.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

Un modelo hidrológico requiere diversos datos y parámetros para lograr una representación correcta del sistema, algunas de los cuales son: capacidad de infiltración, pendiente promedio, porcentaje impermeable, longitud, tiempo de concentración, etc. Estos parámetros se determinan a través de la topografía, utilizando el DEM descargado de ALOS-PALSAR, se determinan las líneas de flujo (dirección en que se mueve el agua). Una vez obtenidas estas líneas se procede a calcular la longitud y pendiente de las mismas.

A continuación, se detallan las características de las cuencas.

Cuenca Río Carapá hasta la Progresiva 1+846

- Superficie de la cuenca: 230.600 hectáreas
- Longitud Talweg: 157.797 m
- Pendiente media del cauce: 0.12 %

Cuenca Arroyo la reina hasta la Progresiva 17+267

- Superficie de la cuenca: 13974 hectáreas
- Longitud Talweg: 28.850 m
- Pendiente media del cauce: 0.48 %

Cuenca arroyo sin nombre hasta la Progresiva 22 + 655

- Superficie de la cuenca: 1505 hectáreas
- Longitud Talweg: 5.000 m
- Pendiente media del cauce: 1.53 %

3.3 Cálculo de la Infiltración

El cálculo de la infiltración es necesario para determinar la precipitación efectiva, es decir, la precipitación causante de escorrentía superficial. Uno de los métodos más utilizados, y que se aplica en este estudio, es el Método de Abstracciones o Número de Curva del SCS, debido a la cantidad de información empírica que se ha generado para el mismo.

El Método del Número de Curva (CN) fue desarrollado por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. El método consiste en asignar un CN promedio para toda una subcuenca, en función de su tipo y uso de suelo.

Con respecto al tipo de suelo, en el marco del PRUT (Programa de Racionalización y Uso de la Tierra) se desarrollaron mapas de orden y taxonomía de suelos, indicando los grupos hidrológicos de la Región Oriental, representando la capacidad de drenaje e infiltración. Los principales tipos se detallan a continuación.

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento y marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

En la Figura 3 a continuación, se ve el tipo que suelo que corresponde a las cuencas bajo estudio.

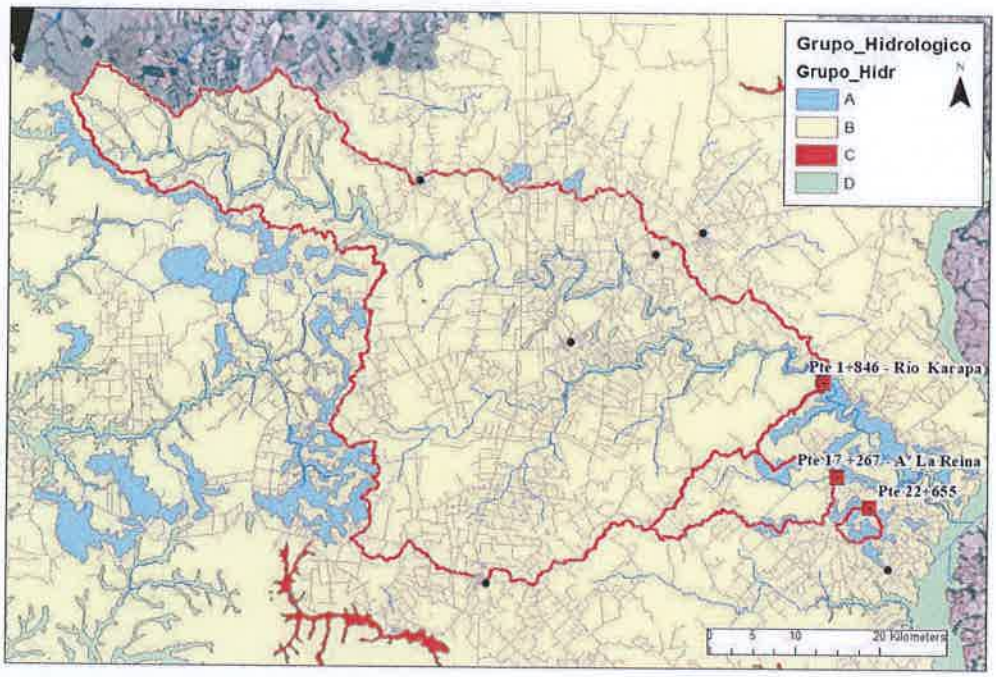

Figura 3: Mapa del Tipo de Suelo de las cuencas.

Con respecto al uso del suelo, se han desarrollado mapas digitales de clasificación mediante una clasificación multitemporal del uso de suelo, realizado a través de un geoprocesamiento de las bandas espectrales de las imágenes satelitales Landsat 8. Se utilizaron además imágenes georreferenciadas de Google Earth para determinar los usos de suelo, tal como sigue. En la figura 4 se muestra el mapa del uso de suelo.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

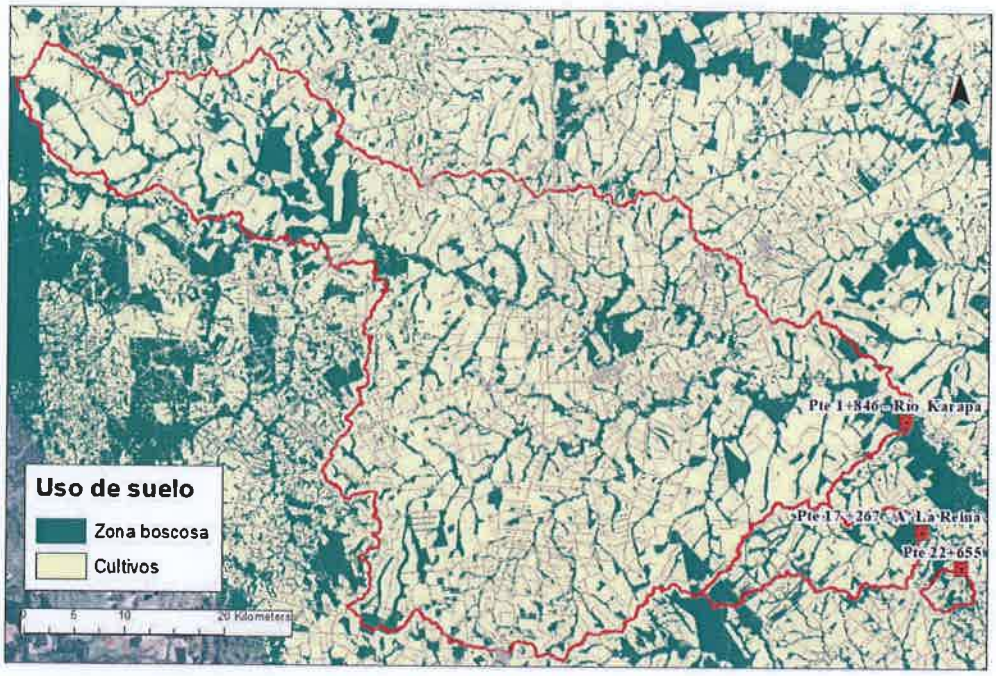

Figura 4: Mapa del Uso de Suelo de las cuencas.

Cada uso de suelo, posee un valor diferente de CN, dependiendo del tipo de suelo. Los valores utilizados en este estudio son mostrados a continuación.

Tabla 1: Valores de CN.

Uso de Suelo	A	B	C	D
Zona Boscosa	45	65	67	70
Cultivos	60	66	72	75

Estos valores han sido estimados a partir de los valores presentados en el libro de Hidrología Aplicada (Ven te Chow, 1994).

Habiendo realizado un cruzamiento digital del uso de suelo y del tipo de suelo y considerando los porcentajes de cada clase en cada tipo, se ha realizado una ponderación de los valores de CN, determinando valores representativos para cada cuenca. Ver Tabla 2

Tabla 2 Valores de CN por cuenca

Cuenca	Prog 1 + 846	Prog 17 + 267	Prog 22 + 655
Valor de CN	68	64	60

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

3.4 Tiempo de Concentración

La duración del evento de precipitación se debe seleccionar en base al tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

El tiempo de concentración de una cuenca se encuentra en función de la pendiente media, la longitud del cauce, la forma de la cuenca, la cobertura del suelo y en menor escala de otros parámetros fisiográficos.

Para calcular el tiempo de concentración se utilizó la fórmula del DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamiento, Brasil), expresada a continuación.

$$Tc = \frac{10}{K}\frac{A^{0.3}\,L^{0.2}}{I^{0.4}}$$

Siendo Tc el tiempo de concentración (min), A el área de la cuenca (has), L la longitud del curso de agua (m), I la pendiente en %.

El coeficiente "K" depende de las características geológicas de la cuenca, conforme lo descrito a continuación. (Extraído del Manual de Hidrologia Básica para Estructuras de Drenagem, DNIT).

- Terreno areno-arcilloso, cubierto de vegetación intensa, elevada absorción K=2.0
- Terreno común, cubierto de vegetación, absorción apreciable K=3.0
- Terreno arcilloso, cubierto de vegetación, absorción media K=4.0
- Terreno arcilloso de vegetación media, poca absorción K=4.5
- Terreno con roca, escasa vegetación, baja absorción K=5.0
- Terreno rocoso, vegetación pobre, reducida absorción K=5.5

Para condiciones medias, con K=4, se tiene en promedio una velocidad de 1.4 m/s para cuencas pequeñas y 1.6 m/s para cuencas mayores, por lo tanto, el método es aceptable para cualquier tamaño de cuenca. Fuente: Manual de Hidrologia Básica para Estructuras de Drenagem, DNIT.

Por definición el Tc es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca. Aplicando este concepto, al hacer que la duración de la lluvia hipotética sea igual al tiempo de concentración, se asegura que toda la cuenca se encuentra generando escorrentía que aporta al caudal de diseño. A continuación, se presenta el cálculo para el tiempo de concentración de la cuenca.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

Tabla 3: Cálculo del Tiempo de Concentración (DNOS).

Cuenca	Longitud (m)	Área (Ha)	Pendiente (%)	K adoptado	Tc (min)
Prog. 1 +846	157797	230600	0.12	3	**3465**
Prog 17 + 267	28850	13974.7	0.48	3	**600.9**
Prog 22 + 655	5000	1505.18	1.53	3	**140.5**

Con estos parámetros, se tiene un Tc igual a 3465 min (57.75 hs) para la Cuenca del Río Carapa hasta la progresiva 1 + 846; Tc igual a 600.9 min (10.01 hs) para la cuenca del Aº la Reina hasta la Prog 17 + 267 y Tc igual a 140.5 min (2.34 hs) en la cuenca de la Progresiva 22 + 655.

3.5 Tiempo de Retorno y Precipitación de Diseño

Se calculan los caudales de diseño con un tiempo de retorno de 100 años para la cuenca del Río Karapa, por su extensión y por su caudal. Para los demás puentes se utiliza un Tr de 50 y 10 años respectivamente, adoptándose este criterio por tratarse de puentes que no se encuentran sobre vías principales.

Para el cálculo de caudales y posterior simulación hidrológica, se requiere introducir una precipitación de diseño, y para determinar la misma se utilizó una curva Intensidad – Duración y Frecuencia (IDF). La expresión para calcular las intensidades en cada estación, responde a la fórmula siguiente:

$$I = \frac{c\,Tr^n}{(tc + d)^m}$$

En donde I es la intensidad expresada en mm/h; tc es el tiempo de concentración en minutos; Tr es el tiempo de retorno en años; c, d, m, n son coeficientes determinados empíricamente. A continuación, se muestran los polígonos de Thiessen, en donde se puede ver que, de acuerdo a su ubicación, las cuencas se encuentran afectadas por la curva IDF de Ciudad del este.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

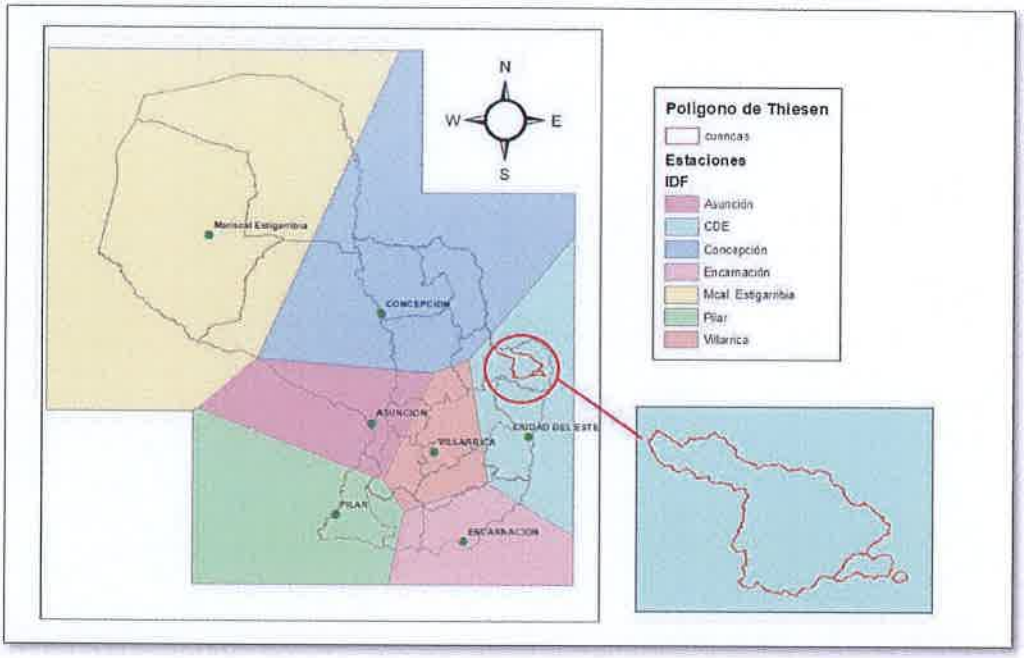

Figura 5: Polígono de Thiessen para la cuenca.

Para la simulación se toma los valores de intensidades mayores, y son calculados con la curva IDF de Ciudad del Este, tal como sigue.

Tabla 4: Parámetros para la Curva IDF.

Parámetros	Ciudad del Este
c	1904.8
n	0.1877
m	0.8719
d	17

Fuente: Cuevas-Rolón (2009).

Por lo tanto, la expresión anterior se reduce a la siguiente fórmula:

$$I(Ciudad\ del\ Este.) = \frac{1904.8\ Tr^{0.1877}}{(tc+17)^{0.8719}}$$

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

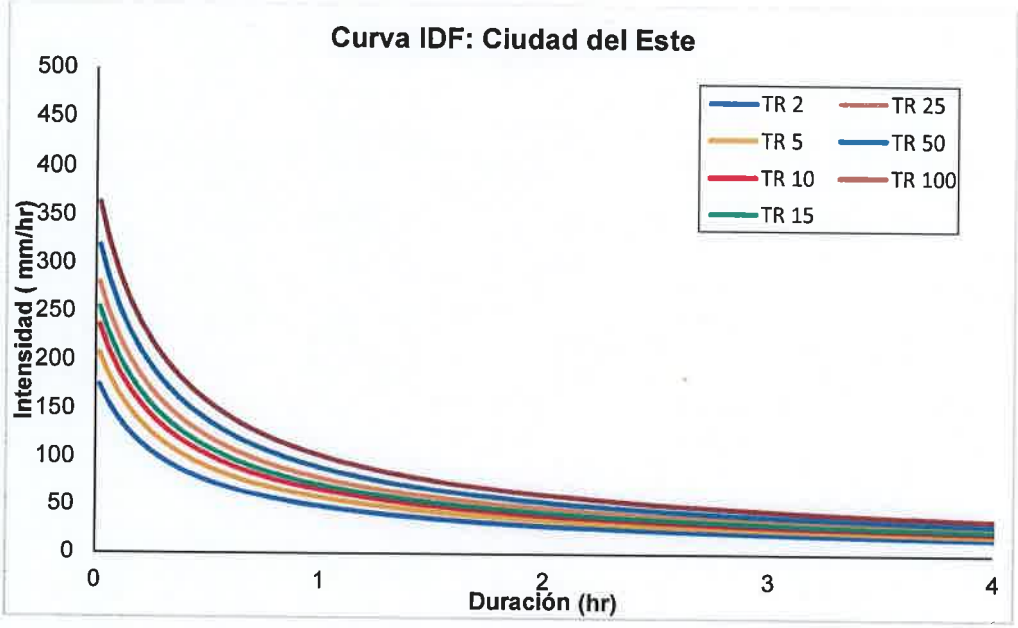

Figura 6 Curva IDF de la estación Ciudad del Este.

Con la ecuación de la Intensidad de la lluvia, se procedió a calcular la precipitación acumulada hasta completar una duración igual al tiempo de concentración. El método de la distribución temporal de la precipitación utilizada fue la de los Bloques Alternos, con lo cual se representa la distribución de la precipitación en una serie de intervalos temporales a lo largo del tiempo en el que dura la lluvia, con lo cual se construyen los hietogramas de diseño. El intervalo de duración de precipitación corresponde al Tc dividido en intervalos iguales. Los intervalos utilizados se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores adoptados para la distribución temporal de la lluvia.

Cuenca	Duración del intervalo de precipitación (Δt Adop.)	Duración total de la precipitación sintética (min)
Prog 1 + 846	288.7	3464.8
Prog 17 + 267	50.1	600.9
Prog 22 + 655	11.7	140.5

A continuación, se muestran los hietogramas de diseño.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

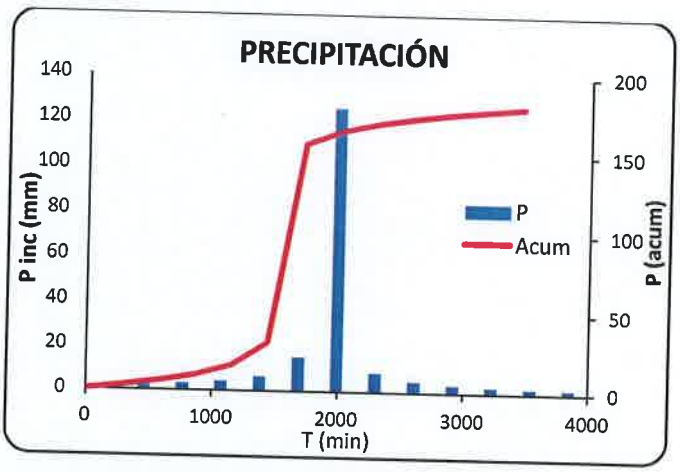

Figura 7: Precipitación de diseño a TR 100. Cuenca Prog. 1 + 846

El hietograma resultante en la figura 7 es la precipitación de diseño, que corresponde a una lluvia con una duración hipotética igual al Tc, para un tiempo de retorno de 100 años para la cuenca del Río Carapa hasta la progresiva 1 + 846.

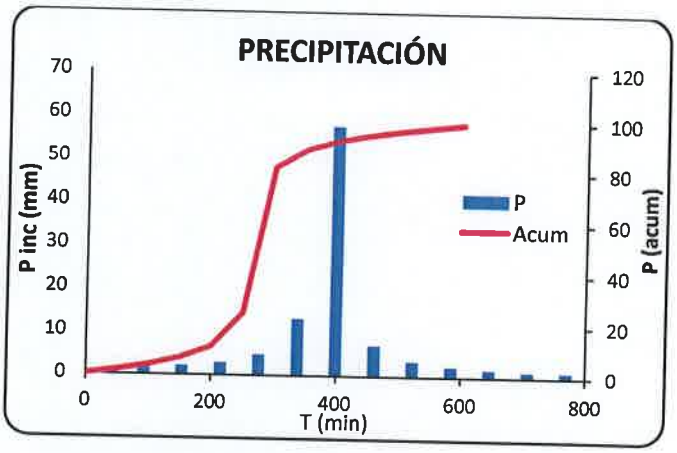

Figura 8: Precipitación de diseño a TR 10. Cuenca Prog. 17+267

El hietograma resultante en la Figura 8 es la precipitación de diseño, que corresponde a una lluvia con una duración hipotética igual al Tc, para un tiempo de retorno de 10 años en la cuenca del Arroyo La Reina en la progresiva 17 + 267.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

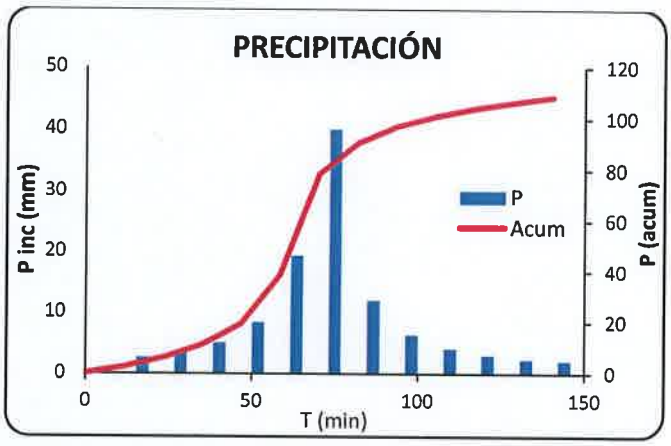

Figura 9 Precipitación de diseño Tr 50. Cuenca Prog. 22 + 655

El hietograma resultante en la Figura 9 es la precipitación de diseño, que corresponde a una lluvia con una duración hipotética igual al Tc, para un tiempo de retorno de 50 años en la cuenca en la progresiva 22 + 655.

3.6 Caudales de Diseño

Para el cálculo de caudales, se utiliza el método del Hidrograma Unitario Triangular e la SCS.

Hidrograma Unitario Triangular de la SCS.

El método fue desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), y es utilizado para el estudio de las cuencas hidrográficas con áreas mayores a 2 km². Representa la comparación gráfica de los gastos de escurrimiento contra el tiempo necesario para que estos se presenten.

La teoría del Hidrograma Unitario Triangular se sustenta en las siguientes propiedades:

- La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en el tiempo o periodo de duración específica.
- La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en toda el área de la cuenca de drenaje.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

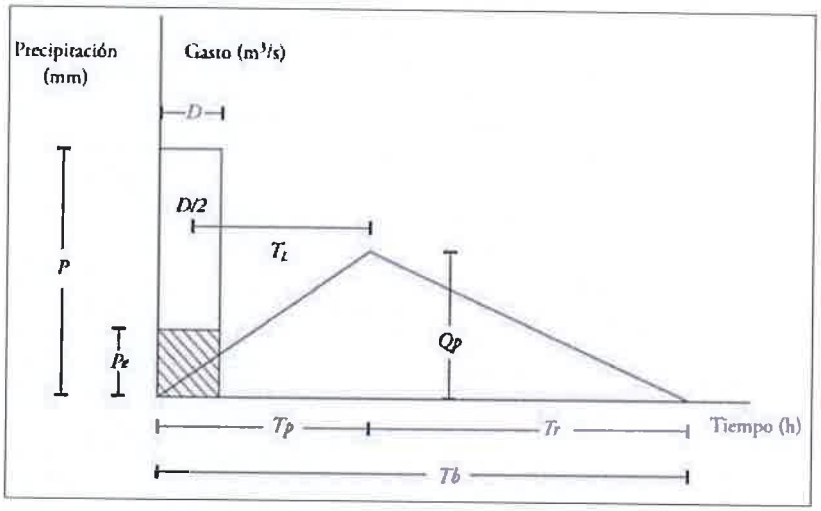

Figura 10: Esquema de cálculo del SCS HUT.

Procedimiento de cálculo para la determinación del caudal máximo

$$Q_P = PRF\frac{A}{T_p}$$

- Qp : caudal pico del hidrograma unitario, en m3/s/mm.
- PRF: "Peak Rate Factor", indica el factor pico del hidrograma.
- A : área de la cuenca, en Km2.
- Tp : tiempo de ocurrencia del caudal pico, en horas.

En donde se cumple lo siguiente,

$$T_P = \frac{D}{2} + T_l$$

$$T_l = 0.6t_c \qquad Tr = XT_p \qquad D = \frac{t_c}{12} \qquad T_b = T_P + T_r$$

Siendo

- D: tiempo de duración de la precipitación efectiva, en horas.
- tc : tiempo de concentración, en horas.
- Tl : tiempo de retardo, medido desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación efectiva hasta el pico del hidrograma de escurrimiento, en horas.
- Tr : tiempo de recesión, medido desde el pico del hidrograma hasta su finalización, en horas.
- Tp : tiempo al pico, en horas.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

- Tb: tiempo base del hidrograma triangular, en horas.

Factor Pico del Hidrograma (PRF)

El Factor pico del hidrograma representa el efecto amortiguador de la ola de inundación y el almacenamiento en la cuenca. Silveira (2015) en su artículo Fator de Pico para Hidrogramas Unitários Sintéticos Triangulares, estableció parámetros y valores para calcular el PRF en cuencas donde no se cuentan con datos, dado la morfología de la cuenca.

Donde:

$$PRF = f\beta$$

f es un factor de conversión donde f = 645 es el factor para el PRF en unidades inglesas y f = 2,78 es para el PRF en unidades métricas. El coeficiente **β** se encuentra en función de **x,** conocido como el factor de recesión del hidrograma y representa la relación entre la recesión y la hora pico. La relación entre los mismos es dada por la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{2}{(1+x)}$$

En la tabla 5 se encuentran los valores de factores de recesión sugeridos por Wanielista, Kersten e Eaglin (1997) utilizados en este estudio.

Tabla 6 Factores pico y de recesión.

Tabela 2 - Fatores de pico e de recessão sugeridos por Wanielista, Kersten e Eaglin (1997) e β respectivo

Bacia	PRF "inglês"	x	β
Urbana	575	1,25	0,89
Típicas do SCS	484	1,67	0,75
Mesclada urbano/rural	400	2,25	0,62
Rural de alta declividade	300	3,33	0,46
Rural de média declividade	200	5,5	0,31
Rural de baixa declividade	100	12,0	0,15

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

Precipitación efectiva

Es la parte de la lluvia total resultante de descontar las pérdidas por escorrentía superficial, percolación profunda y evaporación de la lluvia interceptada por el follaje o que puede aprovechar la vegetación para suplir sus demandas. La lluvia neta o precipitación efectiva a partir de:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad CN = \frac{25400}{254 + S}$$

- P: precipitación real total, en cm. Obtenida de las curvas IDF.
- S: máxima retención potencial.
- CN: Número de Curva

El valor de S se deduce del número de la curva de escurrimiento (CN – Curve Number), calculado en función del manejo del cultivo, de las propiedades y condiciones hidrológicas de infiltración del suelo. El valor de CN puede variar entre 0 y 100, siendo CN = 0 cuando no hay escurrimiento (S adopta valores muy grandes o infinito), y CN = 100 (cuando el volumen del escurrimiento es igual al de la precipitación, luego S toma el valor cero).

Para áreas superiores a 25 km², se debe utilizar el factor de reducción de altura de precipitación, con el cual se obtiene un valor de precipitación total corregido (P'). Para cuencas con áreas menores, se tiene que P = P'.

$$P' = P(1 - 0.1 \times \log_{10} A)$$

Donde:

- P' = precipitación total corregida en mm.
- P = precipitación total real en mm.
- A = área de la cuenca hidrográfica en km².

Conocidas las precipitaciones efectivas para cada intervalo Δt definido, se procede al cálculo de los caudales de proyecto mediante el "álgebra de los Hidrogramas", o sea, multiplicando las precipitaciones efectivas por las ordenadas del Hidrograma unitario, reiteradas a intervalos de tiempo iguales al intervalo unitario considerado.

Los valores de las descargas del Hidrograma de proyecto, por tanto, serán dados por:

$$Qi = \Delta Pe1\text{-}0 \,.\, q1 + \Delta Pe2\text{-}1 \,.\, q2 + \Delta Pe3\text{-}2 \,.\, q3 + \ldots \Delta Pei\text{-}n.\, qi$$

El caudal de proyecto de la cuenca corresponderá al valor máximo de las combinaciones obtenidas en las descargas del Hidrograma de proyecto.

En la tabla 6 se encuentran los valores adoptados para cada subcuenca.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

Tabla 7 Parámetros hidrológicos por cuenca

Valores adoptados para el Hidrograma Unitario						
Tramo	**Rio Carapá - Puerto Adela**					
Prog	**1 + 846**		**17 + 267**		**22 + 655**	
Arroyo	**Rio Carapá**		**Reina**		**Sin nombre**	
Características de la cuenca						
Área (A):	230600	ha	13960	ha	1550	ha
Área (A):	2306	km2	139.6	km2	15.50	km2
Longitud (L):	157797	m	28850	m	5100.00	m
Pendiente (i):	0.12	%	0.5	%	1.53	%
Desnivel (dh):	189.36	m	144.25	m	78.03	m
SCS Curve Number:	**68**		**64**		**60**	
Almacenam. (S):	119.53	mm	142.875	mm	169.33	mm
Porcentaje retenc.:	0.20		0.2		0.20	
Abstracc. Inic. (Ia):	23.91	mm	28.575	mm	33.87	mm
Tiempo de concentración y Factor Pico						
Tc:	57.75	hs	10.01	hs	2.34	hs
D:	288.7	min	50.07	min	11.71	min
tp:	2078.9	min	360.5	min	84.29	min
Tp:	2223.3	min	385.56	min	90.14	min
Tr:	7403.5	min	1196.71	min	174.34	min
Tb:	9626.8	min	1582.27	min	264.48	min
β:	0.46		0.49		0.68	
X:	**3.33**		3.10		1.93	
PRF (Inglés):	297.9		314.34		439.6	
PRF (SI):	**1.28**		1.35		1.893	
Vol. hasta el pico:	23.1%		24.4%		34.1%	

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

A continuación, se presentan los caudales de diseño resultantes junto con sus respectivos hidrogramas para cada cuenca según los TR adoptados.

Cuenca Río Carapá hasta la Progresiva 1+846

- Caudal Máximo (TR 100): 700 **m³/s**
- Caudal de Verificación (TR 150): 775 **m³/s**

La cuenca es grande, pero los caudales son relativamente bajos, puesto que existe mucha retención a lo largo de cauce principal. La retención se debe a la altísima rugosidad de la planicie de inundación del Karapa, debido a la densa vegetación de las márgenes que atenua los caudales máximos.

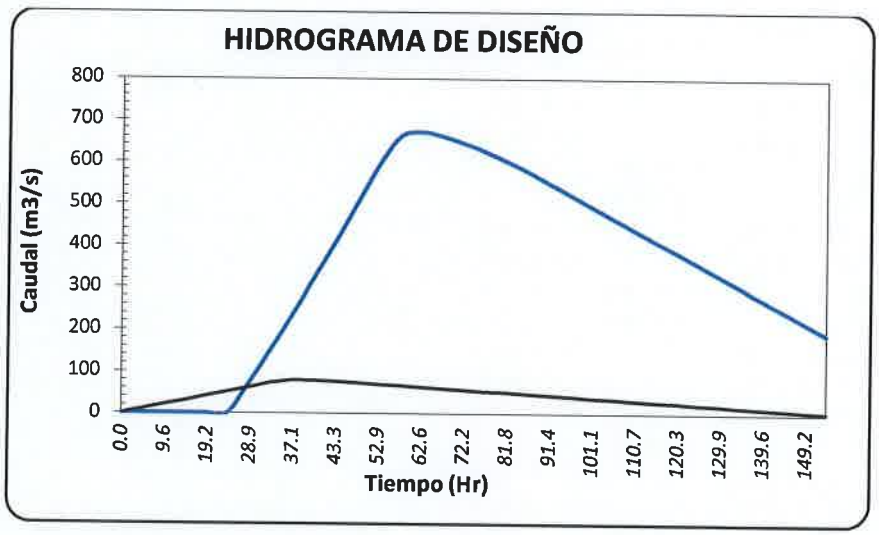

Figura 11: Caudal generado en la cuenca, TR 100.

Cuenca Arroyo la reina hasta la Progresiva 17+267

El puente es calculado con el caudal TR 25 años y verificado con TR 50 años.

Caudal Máximo (TR 25): **94.3 m³/s**

Caudal Verificación (TR 50): **123.8 m³/s**

La cuenca es pequeña y rural por lo tanto se utiliza el TR 25 para el cálculo y TR 50 para la verificación del puente existente. Al ser un puente que se encuentra en una zona rural se estima que el terreno no va sufrir demasiados cambios que afecten el caudal. Se sugiere cambiar el puente existente en 10 años.

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte

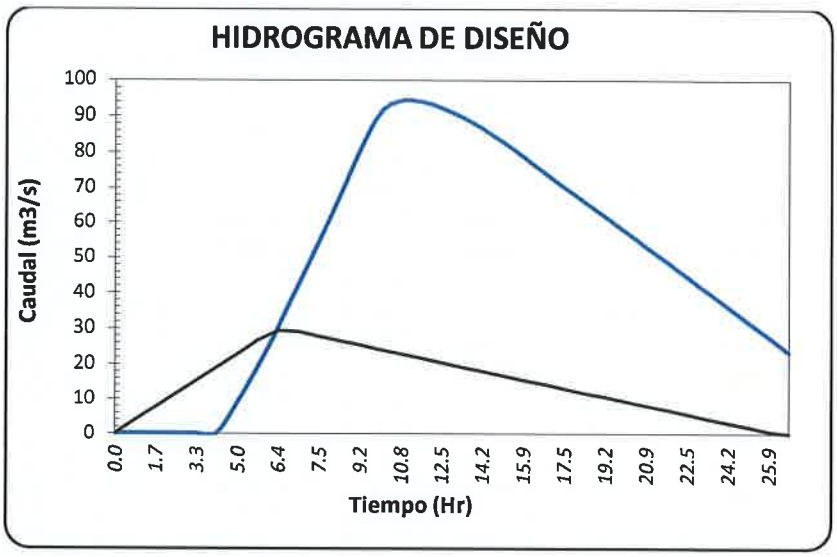

Figura 12: Caudal calculado en la cuenca del Puente la Prog. 17 + 267, TR 25.

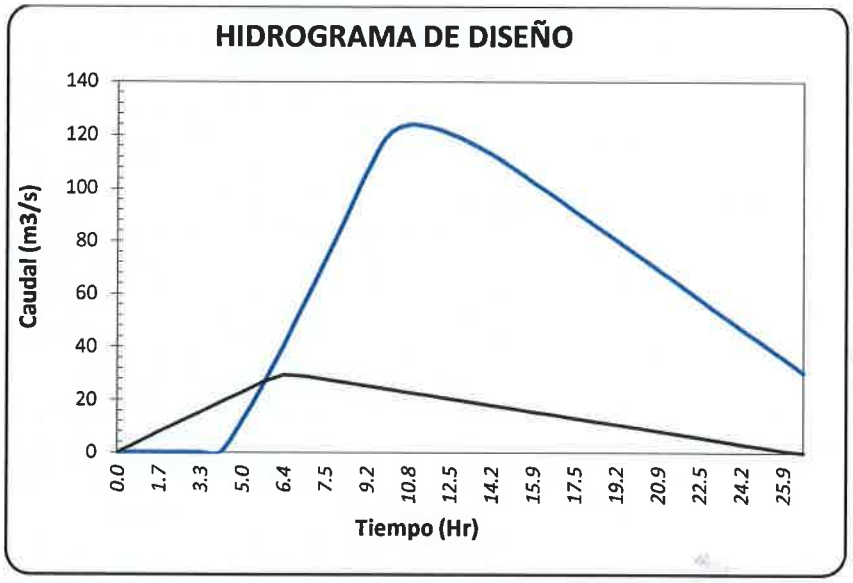

Figura 13: Caudal generado en la cuenca del Puente Prog 17 + 267, TR 50.

Cuenca arroyo sin nombre hasta la Progresiva 22 + 655

El puente es calculado con el caudal TR 50 años y verificado con TR 100 años.

- Caudal Máximo (TR 50): **40 m³/s**
- Caudal Verificación (TR 100): **55 m³/s**

Ing. Carlos Muñoz
Representante Legal
Consorcio Caminos del Norte