REVISION DE PUENTE UBICADO EN LA CIUDAD DE SGTO. JOSE FELIX LOPEZ, DEPARTAMENTO DE CONCEPCION

ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

Equipo de trabajo

Ing. Benito Andrés Pereira, M.Sc.
Ing. Hugo Cubilla

NOVIEMBRE DE 2021

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO 5

1. Introducción 6

2. Estudio de Hidrología: Estimación de Caudales de Diseño 6

2.1 Cálculo de caudal mediante simulación hidrológica 6

2.1.1 Delimitación de Cuencas 6

2.1.2 Precipitación 7

2.1.3 Métodos de Cálculo utilizados 8

2.1.4 Estimación de parámetros 8

2.1.5 Resultados obtenidos mediante simulación hidrológica 12

3. Estudio Hidráulico 13

3.1 Criterios de Diseño 13

3.2 Modelo hidráulico en HEC RAS 13

3.2.1 Geometría del Río 13

3.2.2 Coeficiente de Rugosidad 15

3.2.3 Condiciones de Borde 16

3.3 Resultados obtenidos 17

4. Conclusiones y recomendaciones 18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cuenca de aporte 6
Figura 2 Polígonos de Thiessen para el Paraguay 7
Figura 3 Curvas IDF de la ciudad de Concepción 7
Figura 4 Hietograma de diseño para una duración de tormenta de 3 horas y un tr = 100 años. Elaborado a partir de las curvas idf de Concepción 9
Figura 5 Tipo de suelo reclasificado según el criterio del SCS. Fuente: PRUT 9
Figura 6 Uso de Suelo. Fuente: PRUT 10
Figura 7 Número de Curva (CN) 11
Figura 8 Caudal de Diseño para un Periodo de Recurrencia de 100 años. PROGRESIVA 79+182 12
Figura 9 Criterio para ubicación de secciones transversales aguas arriba y aguas abajo de un Puente. Fuente: Documento TP-151 (HEC-RAS) 14
Figura 10 Sección transversal relevada por un equipo de topografía del contratista 14
Figura 11 Sección transversal del puente existente 17
Figura 12 Perfil Longitudinal comparativo del escenario natural (sin puente) y del puente existente 17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Criterios utilizados para la selección del Tiempo de Retorno.....5
Tabla 2 Métodos de Cálculo Utilizados.....8
Tabla 3 Intensidad de precipitación (mm) para simulación hidrológica 8
Tabla 4 Número de curva según cruce de tipo y uso de suelo 10
Tabla 5 Estimación de Tiempo De Concentración para la cuenca de estudio.....12
Tabla 6 Resumen de parámetros estimados 12
Tabla 7 Valores de manning para canales (Ven Te Chow, 1959).....15
Tabla 8 Valores de manning para Planicies de Inundación (Ven Te Chow, 1959).....16
Tabla 9 Estimación del coeficiente de rugosidad por el método de Cowan 16
Tabla 10 Sobre elevación del nivel de agua a causa del puente existente.....18
Tabla 11 Apoyo de viga del puente con respecto al nivel de aguas máxima 18

RESUMEN EJECUTIVO

Se realiza un estudio de hidrología e hidráulica para la revisión del puente existente ubicado en la progresiva 79+182 del tramo "02B Estancia San Rafael (Km 42) – José Félix López", en el departamento de Concepción.

Para la elección del tiempo de recurrencia (TR) se siguen los criterios presentados en las guías de diseño del MCP (Tabla 1). Para la selección del tiempo de recurrencia (TR) de diseño del puente, se asume una clasificación de vía primaria, con lo cual el TR de diseño adoptado es de 100 años.

TABLA 1 CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIEMPO DE RETORNO

Tipo de obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (años)		Vida útil Supuesta (n: años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño[4]	Verificación[5]		Diseño	Verificación
Estructuras Especiales [1]	RVP	200	300	50	22	15
Puentes[2]	α β	200 100	300 150	50 50	22 40	15 28
Alcantarillas (S>1.75 m^2) o $H_{terrap.} \geq 10$ m y Estructuras Enterradas[3]	α β	100 50	150 100	50 30	40 45	28 26
Alcantarillas (S<1,75 m^2)	α β	50 25	100 50	50 30	64 71	40 45
Defensas de Riberas	α β	100 100	- -	20 20	18 18	- -

Se han llevado a cabo distintos análisis hidrológicos para la determinación de caudales y se ha procedido a la simulación hidrológica utilizando el software HEC-HMS. El caudal obtenido se encuentra en un rango considerado aceptable. Para el **Periodo de Retorno de 100 años se obtuvo el siguiente caudal:**

Q = 52 m^3/s

Para los estudios hidráulicos se ha utilizado topografía generada por la contratista que abarca el cauce y parte de la planicie de inundación. Con estos datos se ha implementado un modelo hidráulico. Con el caudal obtenido, se analizó el comportamiento del puente existente. El Manual de Carreteras del MOPC recomienda una revancha mínima de 1,00 m por encima del NAM (nivel de aguas máximas) para el caso de puentes. **Para el puente existente se obtuvo una revancha de 74 cm**, lo cual, si bien no verifica al criterio del Manual de Carreteras, se considera aceptable. Además, la luz del puente existente verifica, dado que los resultados del estudio hidráulico muestran que se obtiene una **sobre elevación del nivel de aguas máxima de 29 cm** con respecto al escenario natural (sin puente), lo cual cumple con el criterio de la norma española que admite hasta 50 cm para zonas rurales.

En los siguientes apartados se justifica con suficiente detalle los cálculos realizados y al final del informe se brinda una conclusión al respecto.

1. Introducción

El presente documento se divide en dos partes, el estudio hidrológico y el hidráulico. El estudio hidrológico tiene por objetivo la estimación del caudal de diseño. El estudio hidráulico utiliza el caudal de diseño estimado como insumo para estimar el nivel de aguas máxima para los periodos de recurrencia de diseño, y así, la cota de apoyo de viga del puente a ser implantado.

2. Estudio de Hidrología: Estimación de Caudales de Diseño

El estudio de hidrología tiene por objeto determinar el caudal que llegaría a la obra para el Periodo de Retorno seleccionado, en este caso, 100 años para el diseño y 150 años para la verificación de este, tal como se establece en el Manual de Carreteras del Paraguay (MCP, REV. 2019).

2.1 Cálculo de caudal mediante simulación hidrológica

2.1.1 Delimitación de Cuencas

La cuenca de aporte tiene una superficie aproximada de 10.91 km^2. La delimitación de las cuencas se muestra en la Figura 1.

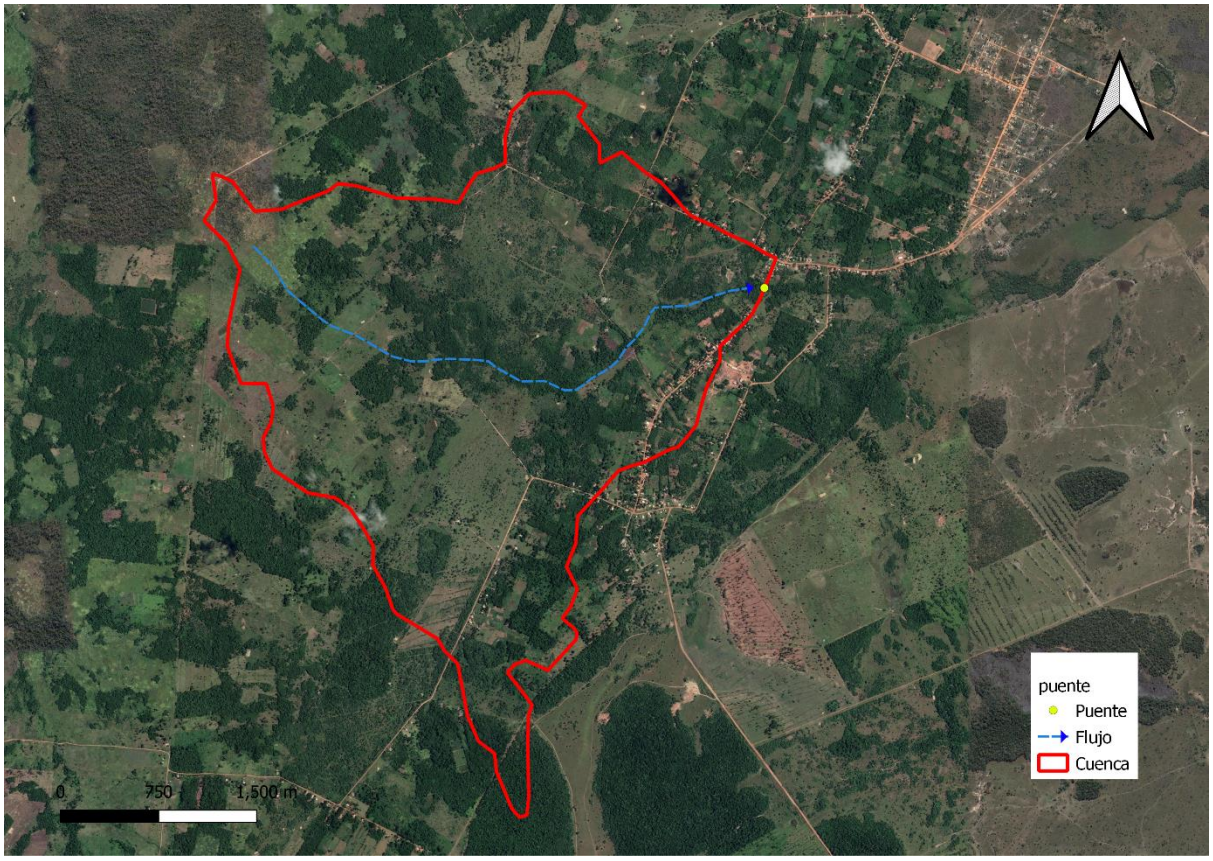

FIGURA 1 CUENCA DE APORTE

2.1.2 Precipitación

La Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH), dependiente de la Dirección de Aeronáutica Civil (DINAC), es la encargada de llevar registros históricos de precipitación a nivel nacional. Realizando un análisis espacial de Polígonos de Thiessen, se observa que la estación de Asunción representa la totalidad de la cuenca de estudio, tal como se muestra en la Figura 2.

FIGURA 2 POLÍGONOS DE THIESSEN PARA EL PARAGUAY

Para la generación de las tormentas sintéticas se utiliza como información base las Curvas IDF del Paraguay (Cuevas & Rolón, 2010), específicamente las generadas en la estación de Concepción, tal como se muestra en la Figura 3.

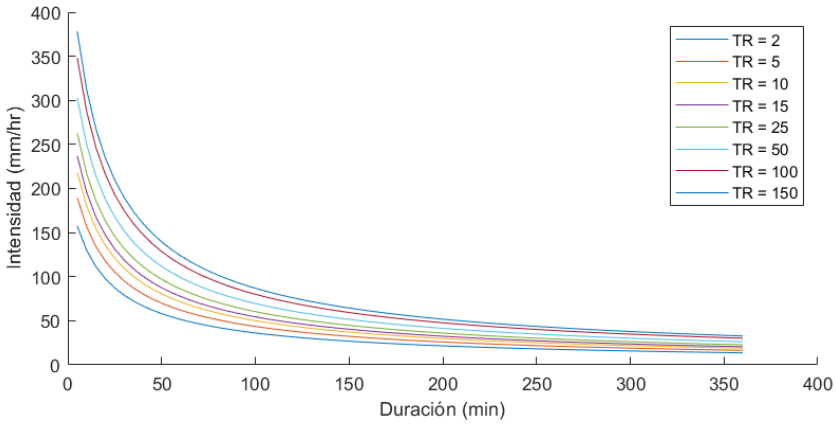

FIGURA 3 CURVAS IDF DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN

2.1.3 Métodos de Cálculo utilizados

La estimación de los caudales de diseño se realiza con el Modelo Hidrológico HEC – HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés). Los métodos utilizados en el presente trabajo se resumen en la Tabla 2.

TABLA 2 MÉTODOS DE CÁLCULO UTILIZADOS

COMPONENTE	MÉTODO	PARÁMETROS
Precipitación	Tormenta Sintética	Volumen de Precipitación (en mm) para 5min, 15min, 1hr, 3hr, 6hr, 12hr y 24hr.
Pérdidas y Generación de escurrimiento	Método del SCS	Número de Curva (CN) y Factor de Pico
Transformación Lluvia - Caudal	Hidrograma Unitario del SCS	Tiempo de Concentración, Tiempo de Retardo

2.1.4 Estimación de parámetros

2.1.4.1 Intensidad de Precipitación

Los datos solicitados por el método Frequency Storm del HEC-HMS, son las intensidades en milímetros asociadas a distintas duraciones y periodos de retorno. Las duraciones de tormenta a ser utilizadas dependen del Tiempo de Concentración (Tc) de cada cuenca, con lo cual, se asume una duración de tormenta igual o ligeramente superior al Tc. En la Tabla 3 se muestran los valores de intensidad (en mm) asociados a distintas duraciones de tormenta y distintos periodos de recurrencia.

TABLA 3 INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (MM) PARA SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

Concepción			
T (min)	TR100	TR150	Fuente
0:05	29.03	31.52	IDF
0:15	61.55	66.82	
1:00	114.11	123.90	
2:00	140.18	152.20	
3:00	155.20	168.51	
6:00	181.10	196.64	
12:00	236.35	252.52	Interpolado (log)
24:00	291.62	308.41	Gumbel
48:00	351.54	371.90	

Con estos parámetros el HEC-HMS crea los hietogramas de diseño que son utilizados en el proceso de transformación lluvia-caudal, luego de computar las abstracciones (pérdidas por infiltración). En la Figura 4 se muestra como ejemplo un hietograma generado para una duración de tormenta de 3 horas, en intervalos de tiempo de 5 minutos, para un periodo de recurrencia de 100 años.

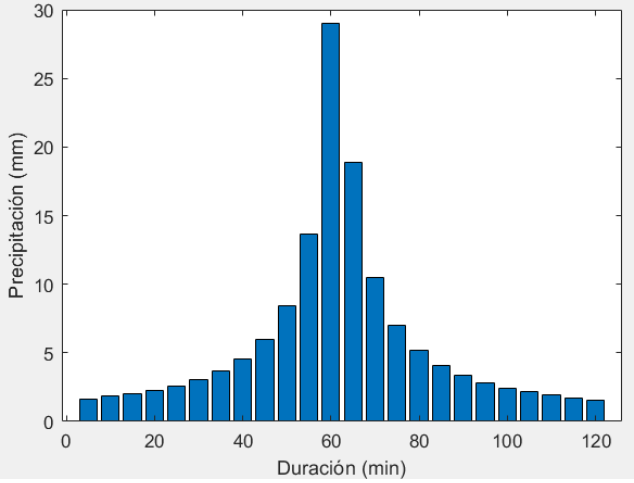

FIGURA 4 HIETOGRAMA DE DISEÑO PARA UNA DURACIÓN DE TORMENTA DE 3 HORAS Y UN TR = 100 AÑOS. ELABORADO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF DE CONCEPCIÓN

2.1.4.2 Número de Curva

La fuente de información de tipo de suelo en la Región Oriental del Paraguay proviene del "Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra" o PRUT (Banco Mundial & MAG-Paraguay, 1995). Allí, a partir de una serie de muestras relevadas, se clasificó taxonómicamente el suelo. Además, se definieron clases texturales, las cuales fueron utilizadas como base para elaborar un mapa de Grupos de Suelo de acuerdo con el criterio mencionado en el Capítulo 7 del "National Engineering Handbook" (USDA - NRCS, 2009) tal como se muestra en la Figura 5.

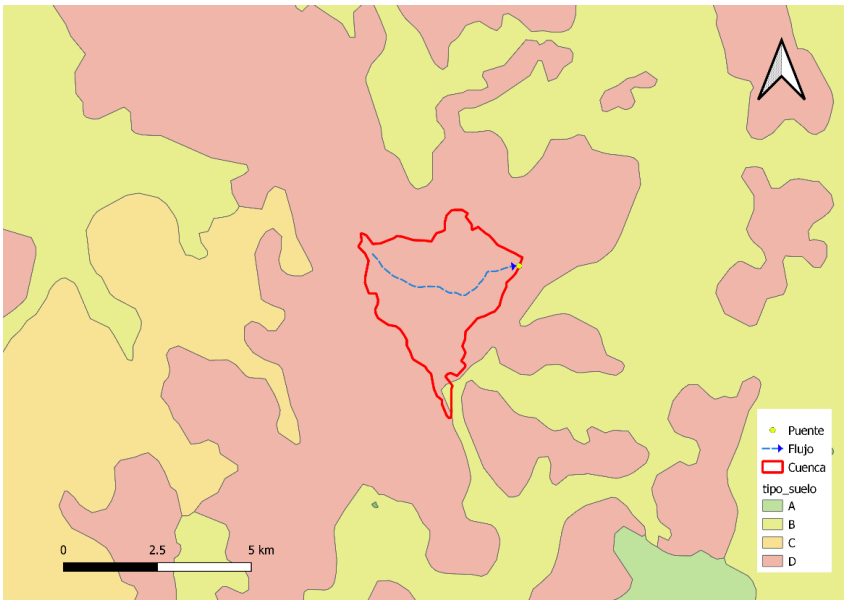

FIGURA 5 TIPO DE SUELO RECLASIFICADO SEGÚN EL CRITERIO DEL SCS. FUENTE: PRUT

Por otro lado, se generó un mapa de uso de suelo (Figura 6) en base a una clasificación supervisada de imagen satelital, que fue reclasificado en base al criterio de Tucci (1993), tal como se muestra en la Tabla 4.

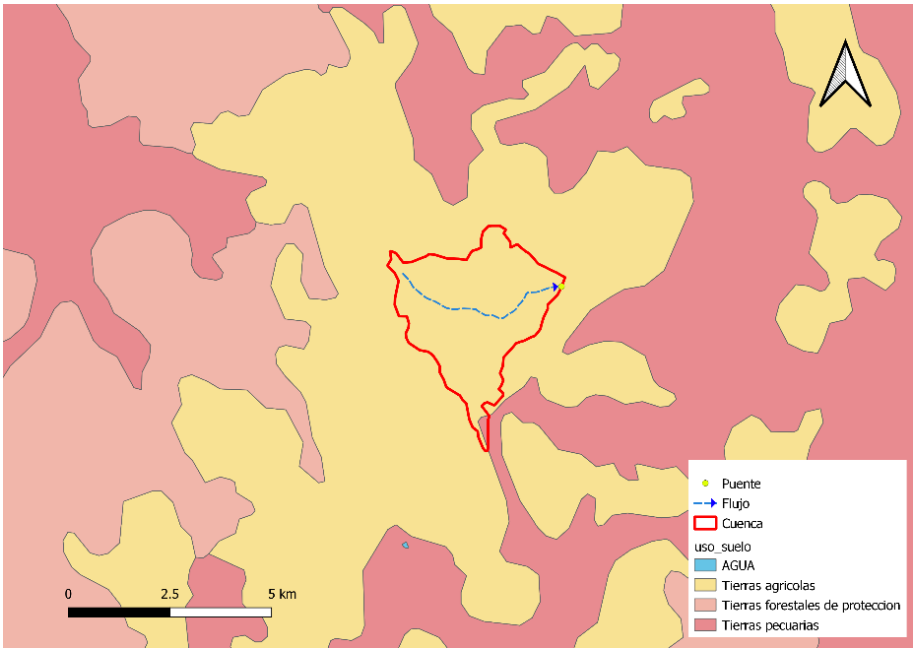

FIGURA 6 USO DE SUELO. FUENTE: PRUT

TABLA 4 NÚMERO DE CURVA SEGÚN CRUCE DE TIPO Y USO DE SUELO

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

En base al criterio expuesto en la Tabla 4, se realiza el cruce de Tipo y Uso de Suelo para determinar el Número de Curva (CN), cuya distribución se muestra en la siguiente Figura.

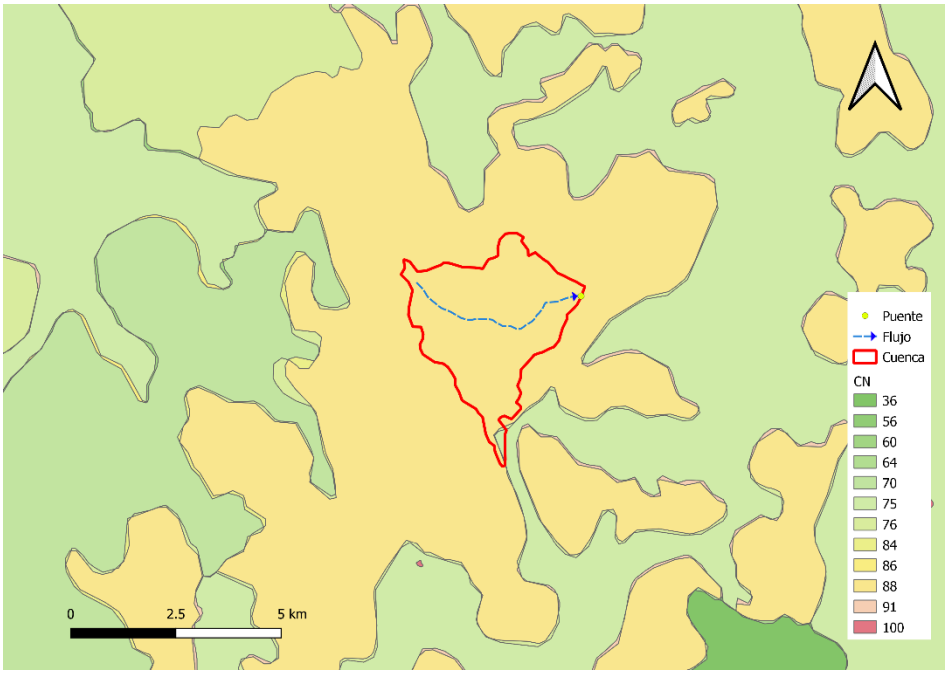

FIGURA 7 NÚMERO DE CURVA (CN)

2.1.4.3 Tiempo de Retardo

Para el cálculo del Tiempo de Retardo, primero se calcula el Tiempo de Concentración de la Cuenca con alguna fórmula empírica y luego se utiliza la siguiente relación para calcular el Tiempo de Retardo.

$$Tiempo\ de\ Retardo = 0{,}6\ Tc \qquad (1)$$

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

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

Para este estudio se utiliza la ecuación de Kirpich MODIFICADA, la cual se muestra a continuación:

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

Donde:

TC = tiempo de concentración, en horas.

L= longitud del curso de agua, en km.

H= desnivel máximo, en m.

TABLA 5 ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA CUENCA DE ESTUDIO

Área (km²)	L (m)	L (km)	Zmáx	Zmin	Delta H	S (m/m)	Tc (hr)
10.91	4502.95	4.5	219.1287	191.954	27.17	0.006	2.27

2.1.4.4 Resumen de Parámetros Estimados

A modo de condensar los resultados obtenidos, se resume todo en la siguiente tabla.

TABLA 6 RESUMEN DE PARÁMETROS ESTIMADOS

Área (km²)	L (km)	Delta H	S (m/m)	Tc (hr)	Tlag (min)	CN	Factor Pico
10.91	4.5	27.17	0.006	2.27	82	88	150

2.1.5 Resultados obtenidos mediante simulación hidrológica

Aplicando los métodos de cálculo expuestos en los apartados anteriores, se generaron los caudales de diseño para distintos periodos de recurrencia, tal como se muestra en las siguientes figuras.

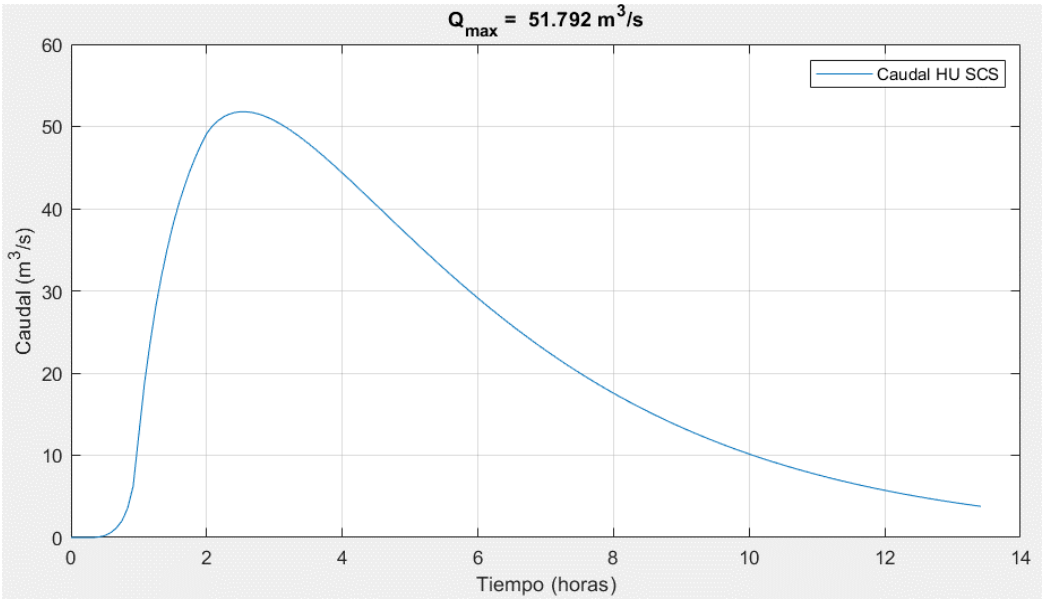

FIGURA 8 CAUDAL DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE RECURRENCIA DE 100 AÑOS. PROGRESIVA 79+182

3. Estudio Hidráulico

3.1 Criterios de Diseño

El diseño del puente desde el punto de vista hidráulico consiste en determinar la longitud y el nivel mínimos que permitirán el correcto escurrimiento del agua durante un evento de precipitación dado. Se presta especial atención a:

- Que no exista interrupción a la vía para el evento de precipitación seleccionado.
- Que el caudal o velocidad del agua no presente efectos adversos sobre la estructura del puente o terraplén de acceso.
- Que el puente o terraplén no presenten efectos adversos sobre el medio ambiente.

Manteniendo presente lo anterior, se procede a simular el efecto de un puente y terraplén en el sitio de emplazamiento, bajo el escenario de un caudal asociado a la precipitación de diseño, el cual fue calculado en el apartado anterior. La simulación del sistema *terraplén + puente* se lleva a cabo con el software de simulación hidráulica HEC RAS, del Cuerpo de Ingenieros de la Ejército de los EEUU (HEC, USACE). Se siguen los procedimientos recomendados en el Manual de Referencia Hidráulica del HEC-RAS para el diseño, así como también del Manual de Carreteras del Paraguay (MCP), el Manual de Puentes, y el documento Bridge Analysis Using HEC-RAS (TP-151).

3.2 Modelo hidráulico en HEC RAS

El HEC RAS calcula el N.A. para cada caudal ingresado mediante las ecuaciones de hidráulica que se describen extensa y detalladamente en el Manual de Referencia Hidráulica del programa. Para llevar a cabo estos cálculos el programa requiere:

a. Geometría del Río: longitud, pendiente, forma de la sección transversal
b. Coeficiente de rugosidad: de la Ecuación de Manning, parámetro que representa la capacidad de escurrimiento del agua en el canal.
c. Condición de borde: en los límites del tramo de estudio, como se encuentra el río. En este punto es donde se simulan los dos escenarios para este caso particular: N.A. elevado y N.A. bajas.

Se describen a continuación cada uno de estos elementos.

3.2.1 Geometría del Río

La geometría del río se describe principalmente con datos de relevamiento topográfico. Para el diseño de puentes, entre los principales efectos a estudiar se tiene la angostura del cauce y/o la planicie de inundación por efecto del terraplén del puente, además de otros elementos como las pilas y estribos. Para determinar adecuadamente este efecto, el documento técnico TP-151 citado más arriba describe la forma y lo sitios en los que se debe llevar a cabo el relevamiento topográfico.

En la Figura 9 se muestra un esquema de la disposición de secciones transversales, así como, un esquema en planta del flujo a través del área libre del puente. La primera ST (Sección Transversal) de la izquierda, denominada ST 4 y marcada en círculo por HEC RAS, corresponde

a un sitio donde el flujo es aún paralelo a los bordes y no se encuentra alterado por el efecto del terraplén. Las ST 3 y 2 corresponden al flujo totalmente contraído y alterado por el terraplén, mientras que la ST 1 (última de la derecha) corresponde al sitio donde el flujo se ha expandido completamente, abarcando todo el ancho de la ST. Nótese que en todos estos casos la ST abarca todo el ancho del cauce y de la planicie de inundación, la cual en ríos de llanura puede ser de hasta 2,000 metros o más. En la Figura 9, Lc significa Longitud de Contracción del flujo, y Le Longitud de Expansión. El documento TP-151 contiene criterios para determinar las longitudes Lc y Le; estas en general son del mismo orden que la longitud de la planicie de inundación obstruida por el terraplén. Por ejemplo, para una planicie de inundación de 1,000 m en la cual se plantea un puente de 100 m, la longitud obstruida es de 900 m. En este caso Lc = 900 m, y Le = 1,4 * 900 = 1,320 m.

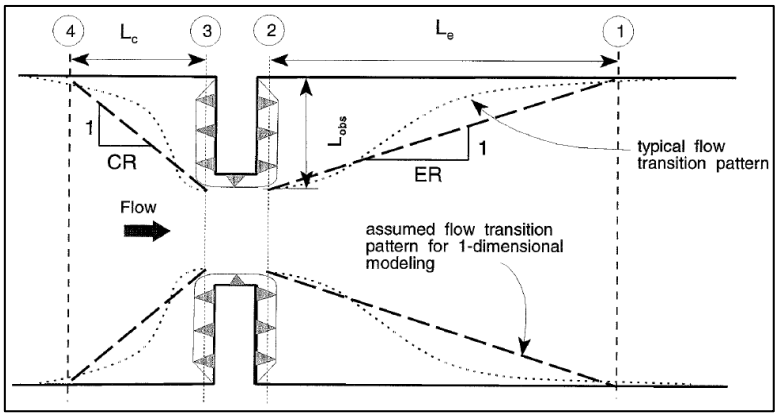

FIGURA 9 CRITERIO PARA UBICACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE UN PUENTE. FUENTE: DOCUMENTO TP-151 (HEC-RAS)

El equipo de topografía relevó una sección completa inmediatamente aguas arriba del puente existente. Esta sección se muestra en la siguiente imagen.

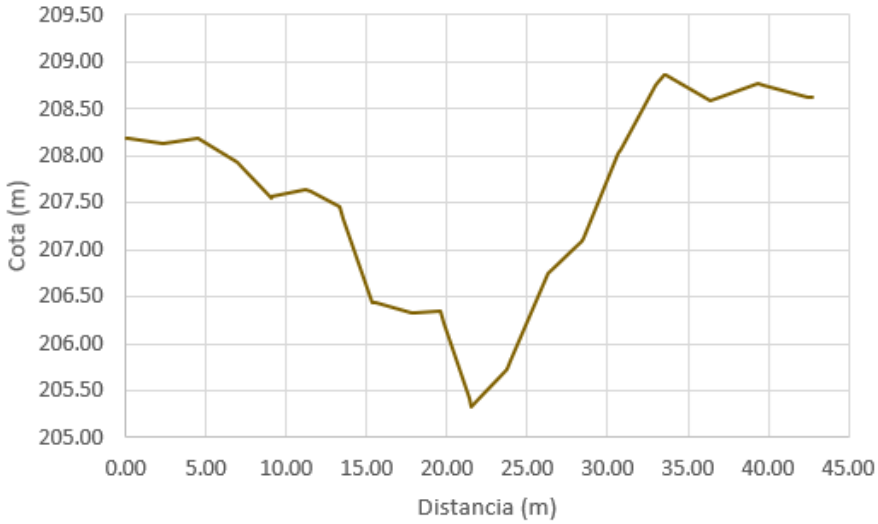

FIGURA 10 SECCIÓN TRANSVERSAL RELEVADA POR UN EQUIPO DE TOPOGRAFÍA DEL CONTRATISTA

Adicionalmente, el contratista relevó la cota rasante del camino existente (en donde se encuentra el puente existente).

3.2.2 Coeficiente de Rugosidad

Se utiliza el método propuesto por Cowan (1956). Este método considera una serie de factores que representan la rugosidad de un canal y sus planicies de inundación:

$$n = (nb + n1 + n2 + n3 + n4)\, m \quad (3)$$

Donde:
nb: valor base de *n* para un canal recto, uniforme y de un material determinado.
n1: valor que se adiciona por efectos de irregularidades en el suelo.
n2: valor que se adiciona por la variación de la sección transversal a lo largo del canal.
n3: valor que se adiciona teniendo en cuenta obstrucciones.
n4: valor que se adiciona teniendo en cuenta la vegetación.
m: factor de corrección que tiene en cuenta los meandros existentes.

En las siguientes Tablas se muestran distintos valores de Manning asociados a distintas características de canales y planicies de inundación.

TABLA 7 VALORES DE MANNING PARA CANALES (VEN TE CHOW, 1959)

Condiciones del Canal		**Valores**	
Material Involucrado	Tierra	nb	0.02
	Corte en roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n1	0
	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n2	0
	Ocasionalmente Alternante		0.005
	Frecuentemente Alternante		0.01 - 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0
	Menor		0.01 - 0.015
	Apreciable		0.02 - 0.03
	Severo		0.04 - 0.06
Vegetación	Baja	n4	0.005 - 0.01
	Media		0.01 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.05
	Muy Alta		0.05 - 0.1
Grado de los efectos por meandros	Menor	m	1
	Apreciable		1.15
	Severo		1.3

TABLA 8 VALORES DE MANNING PARA PLANICIES DE INUNDACIÓN (VEN TE CHOW, 1959)

PLANICIES DE INUNDACIÓN	Mínimo	Normal	Máximo
a. Pastizales, sin matorrales			
Pasto Corto	0.025	0.03	0.035
Pasto Alto	0.03	0.035	0.05
b. Áreas Cultivadas			
Sin Cultivo	0.02	0.03	0.04
Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivo maduros	0.03	0.04	0.05
c. Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.05	0.07
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.04	0.06	0.08
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.07	0.11
Matorrales medios a densos, en verano	0.07	0.1	0.16
d. Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.11	0.15	0.2
Terreno Limpio, con troncos sin retoños	0.03	0.04	0.05
Terreno Limpio, con troncos con retoños	0.05	0.06	0.08
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16

Con base en los criterios expuestos en las tablas anteriores, se aplica el método de Cowan y se estiman valores de Manning que serán utilizados en la modelación hidráulica del Puente.

TABLA 9 ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR EL MÉTODO DE COWAN

Sección Transversal	*nb*	*n1*	*n2*	*n3*	*n4*	*m*	n calculado
Cauce	0.02	0.005	0.005	0	0.005	1	0.035
Planicie	-	-	-	-	-	-	0.1

3.2.3 Condiciones de Borde

Se trata del comportamiento del modelo en sus extremos de aguas arriba y aguas abajo. El programa HEC RAS requiere condiciones de borde en los extremos del sistema estudiado, aguas arriba y aguas abajo. Para aguas arriba se ingresa el caudal calculado en el apartado de hidrología considerando un régimen permanente, y para aguas abajo se utiliza como condición de borde la altura normal.

3.3 Resultados obtenidos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado. Según la normativa Española para carreteras, la sobre-elevación del nivel de agua causada por la obstrucción de un puente con respecto a una condición natural (sin puente) debe ser inferior a 50 cm para zonas rurales.

Progresiva 79+182

Inicialmente se evalúa el comportamiento del puente existente, utilizando como criterio de evaluación el Manual de Carreteras del Paraguay (MCP, 2019).

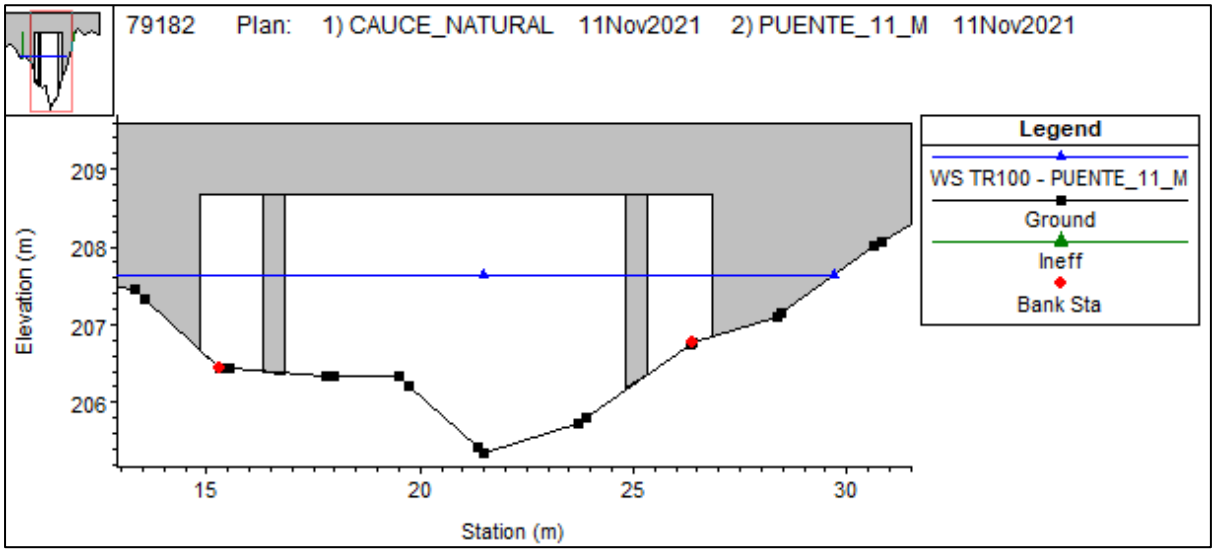

FIGURA 11 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE EXISTENTE

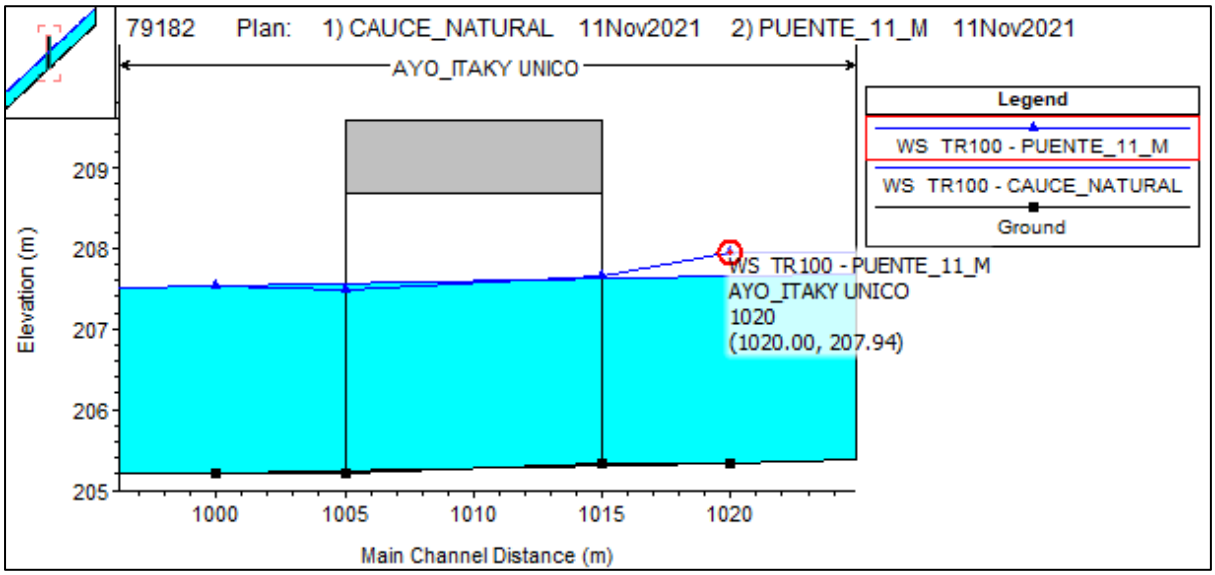

FIGURA 12 PERFIL LONGITUDINAL COMPARATIVO DEL ESCENARIO NATURAL (SIN PUENTE) Y DEL PUENTE EXISTENTE

Los resultados indican que se cumple el criterio de la sobre elevación del nivel de agua a causa del puente. Se obtuvo una sobre elevación aproximada de 29 cm. En la siguiente tabla se muestra un resumen de este análisis.

TABLA 10 SOBRE ELEVACIÓN DEL NIVEL DE AGUA A CAUSA DEL PUENTE EXISTENTE

NAM NATURAL	207.65	m
NAM PUENTE EXISTENTE	207.94	m
SOBRE ELEVACIÓN	0.29	m

Como la sobre elevación es inferior a 50 cm, se concluye que el puente existente verifica al criterio de la sobre elevación máxima aceptable para zonas rurales.

Con respecto a la cota de apoyo de viga, se tiene una diferencia de 74 cm entre el NAM (Nivel de aguas máxima) para TR 100 años y el apoyo de viga del puente. De acuerdo con el criterio del MCP (2019), el apoyo de viga no verifica.

TABLA 11 APOYO DE VIGA DEL PUENTE CON RESPECTO AL NIVEL DE AGUAS MÁXIMA

COTA APOYO DE VIGA	208.68	m
NAM TR 100 AÑOS	207.94	m
ALTURA LIBRE	0.74	m

4. Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio realizó una verificación de la obra de arte existente conforme a los criterios del Manual de Carreteras del Paraguay (MCP, 2019).

Como resultado del análisis, se concluye que el puente verifica al criterio de sobre elevación con respecto al escenario natural, puesto que el mismo genera 29 cm de sobre elevación (inferior a 50 cm recomendado por la norma española para zonas rurales).

Según el análisis, también se concluye que el puente no verifica al criterio del nivel de aguas máxima, que establece que el apoyo de viga debe situarse 1,00 metro por encima de dicho nivel. Sin embargo, como esta diferencia se sitúa en el orden de 74 cm, se considera razonable mantener el puente existente si es que el mismo se encuentra en buen estado estructural.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, se deja expresa constancia que los resultados mostrados se encuentran estrictamente ligados al correcto relevamiento de los puntos de topografía. También es importante mencionar que la integridad estructural del puente es muy importante para el correcto funcionamiento del cruce, así como también, la limpieza del cauce aguas arriba, aguas abajo y en el puente mismo (remoción de sedimentos en caso de necesidad).