000291
Doscientos noventa y uno

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

INDICE

1. GENERALIDADES 2
2. ESTUDIO DE NIVELES DE INUNDACIÓN DEL RÍO PARAGUAY 2
2.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO 2
2.2 ESTUDIO DE NIVELES Y CAUDALES 2
2.2.1 Distribuciones de Probabilidad Teórica 6
2.3 MODELACIÓN 8
2.3.1 Información general del Modelo HEC-RAS 8
2.3.2 Modelo digital del terreno 9
2.3.3 Peralte del Nivel de Agua determinado por la Modelación 9
2.4 DETERMINACIÓN DE ALTURA DE OLEAJE 10
2.4.1 Viento 10
2.4.2 Longitud del fetch 13
2.4.3 Marea meteorológica 14
2.4.4 Oleaje por fetch 15
2.5 CONCLUSIONES DEL APARTADO 16
3. ESTUDIO PRELIMINAR DE ALCANTARILLAS 16
3.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO 16
3.2 ESTUDIO DE ALCANTARILLAS 16
3.3 CONCLUSIONES DEL APARTADO 24
4. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE ALCANTARILLAS Y PUENTES 24
4.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO 24
4.2 HIDROLOGÍA 25
4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO 27
4.3.1 Tasa de infiltración 27
4.3.2 Tiempo de Concentración 29
4.4 CAUDALES DE DISEÑO 30
4.4.1 Morfología de cuencas 33
4.5 VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS 35
4.6 VERIFICACIÓN DE LOS PUENTES 38
4.7 CONCLUSIONES DEL APARTADO 38

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

1. GENERALIDADES

El presente estudio se realiza para la Revisión Hidrológica e Hidráulica del Diseño de Ingeniería correspondiente al LLAMADO MOPC N° 14/2020 LICITACIÓN PÚBLICA INTERNACIONAL DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS PARA LA REHABILITACIÓN Y DUPLICACIÓN DEL TRAMO REMANSO RUTA N° 9 (VISTA ALEGRE) - PUERTO FALCÓN, correspondiente al ID N° 359.641. El mismo fue adjudicado al CONSORCIO PUERTO FALCÓN, quien ha contratado los servicios de INSASA para dicha revisión.

La documentación analizada corresponde a los documentos de licitación y principalmente al Informe Final del Diseño Final de Ingeniería de los ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL Y DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA DEL PROYECTO DE LA REHABILITACIÓN DEL TRAMO REMANSO RUTA N° 9 (VISTA ALEGRE) – PUERTO FALCÓN realizado por CIALPA para el MOPC.

2. ESTUDIO DE NIVELES DE INUNDACIÓN DEL RÍO PARAGUAY

2.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente informe se realiza en base al análisis preliminar de los estudios hidrológicos e hidráulicos de la Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón. Se ha identificado que lo más importante es la definición de los niveles de inundación del Río Paraguay para diferentes situaciones y su incidencia sobre la ruta a construir.

2.2 ESTUDIO DE NIVELES Y CAUDALES

En el análisis realizado por el proyectista, presentado a continuación, se consideran solamente las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Log Pearson Tipo III. En el presente informe, al igual que lo realizado para el Puente Héroes del Chaco, la Costanera Norte Segunda Etapa y la Costanera Sur. Considerando que la ruta proyectada guarda relación directa con el Puente Héroes del Chaco y su área de influencia, se ha utilizado la misma información recabada y analizada para el presente estudio.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Obras Públicas y Comunicaciones

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICO Y AMBIENTAL y DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA DEL PROYECTO DE LA REHABILITACIÓN Y DUPLICACIÓN DEL TRAMO REMANSO RUTA N° 9 (VISTA ALEGRE) - PUERTO FALCÓN

CIALPA

2.2.2.5.1 Análisis estadístico de la cota de aguas máximas del río Paraguay

A fin de tener en cuenta las crecidas que se producen en el Río Paraguay, las cuales podrían afectar e influir en la zona de estudios, se ha realizado un análisis estadístico para conocer la cota del nivel de agua para el período de retorno en estudio, que corresponde a los períodos de retorno TR 100 años y TR 150 años.

Debe a tener en cuenta

- Pendiente del Río Paraguay adoptada: 4 cm/km.
- Cota 0 hidrométrica: 54,04m.

ASUNCIÓN

Período de retorno	Nivel de agua		Período de retorno	Cota Nivel Max p/c TR	
	GUMBEL	LOG PEARSON III		GUMBEL	LOG PEARSON III
Tr (años)	NIVEL (cm)	NIVEL (cm)	Tr (años)	COTA	COTA
100	1020	842	100	64.24	62.43
125	1049	851	125	64.53	62.55
150	1071	857	150	64.75	62.61
175	1091	863	175	64.95	62.67
200	1107	867	200	65.11	62.71

Ambas distribuciones, Log Pearson III y Gumbel, son válidas aceptados. Por lo tanto, se recomienda utilizar como cota máxima de la rasante de la estructura hidráulica a implementar, el correspondiente al calculado por el método de Gumbel a fin de considerar un valor de seguridad.

Como resultado de este análisis estadístico, se recomienda que la cota de la rasante sea, 65,24, como mínimo. Según las recomendaciones establecidas en el Manual de Carreteras del MOPC donde se establece que, para defensas costeras, debe ser superior a 1 metro por encima de la cota de aguas máximas.

Figura 2.1: **Extracto de la Memoria del Proyectista**

Para el caso del presente estudio de niveles, las técnicas estadísticas para asociarlos a distintos periodos de recurrencia difieren bastante en cuanto a resultados. Por ello, es importante utilizar distintas distribuciones de probabilidad teóricas (Gumbel, Normal, Log Normal, Log Pearson Tipo III, etc.) y verificar cuál de ellas se ajusta mejor a la distribución empírica (datos observados), lo cual se traduce en el porcentaje de correlación.

La serie de niveles utilizada se encuentra en el puerto de Asunción, y los registros se extienden desde el 01/01/1904 hasta la actualidad. En el marco del presente proyecto, se trunca la serie hasta el 31/12/2019 (117 años de datos). En la siguiente figura se muestra la serie de datos utilizada. La cota del "0" es 54,04 m.s.n.m., los niveles (cotas) de la regla fueron calculados a partir de las mediciones de nivel realizadas en la regla hidrométrica. Es importante mencionar que los niveles corresponden al Datum MARPLA, nivel de referencia utilizado por todos los proyectos antes mencionados.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

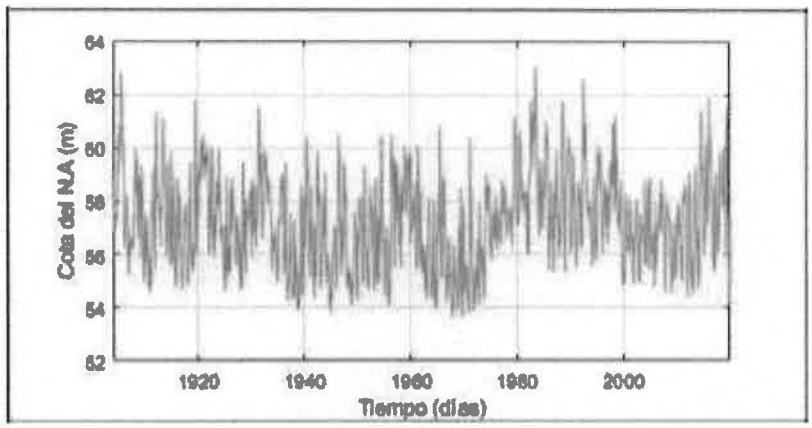


Figura 2.2: Serie Histórica de Niveles del Río Paraguay (Puerto de Asunción)

Analizando el comportamiento del río en todo el periodo, en promedio los niveles más altos ocurren en el invierno y los más bajos en el verano, tanto para los valores medios del río como para los valores máximos de cada mes. El nivel medio del río en Asunción para todo el periodo es de 57,22 m.s.n.m. y el promedio de los máximos anuales es de 59,22.

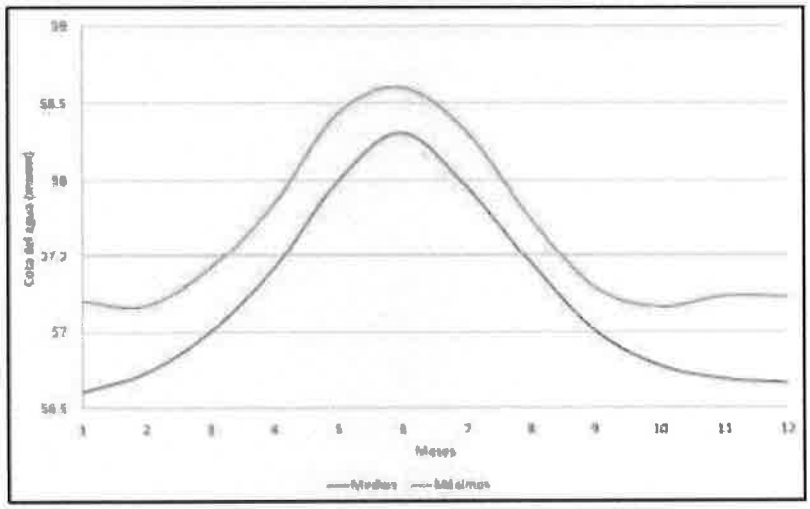


Figura 2.3: Comportamiento Anual del Río Paraguay (Asunción)

Ahora bien, si analizamos los máximos de cada año en toda la serie tenemos años en los cuales los mayores niveles se dieron en el verano como se observa en la figura siguiente

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

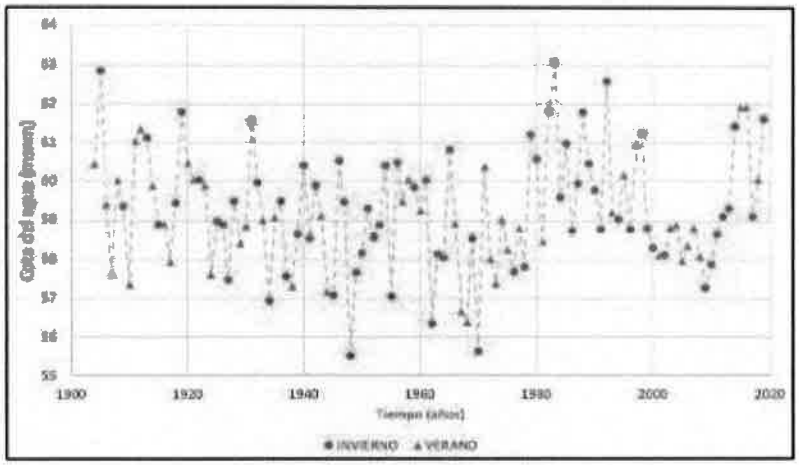


Figura 2.4: **Niveles máximos anuales y estación de ocurrencia**

A modo de visualizar el comportamiento de los niveles máximos y conocer el porcentaje de tiempo que un determinado nivel es excedido se grafica una curva de permanencia, tal como se muestra en la siguiente figura. El nivel para el 50% de permanencia es de 57,12 m.s.n.m.

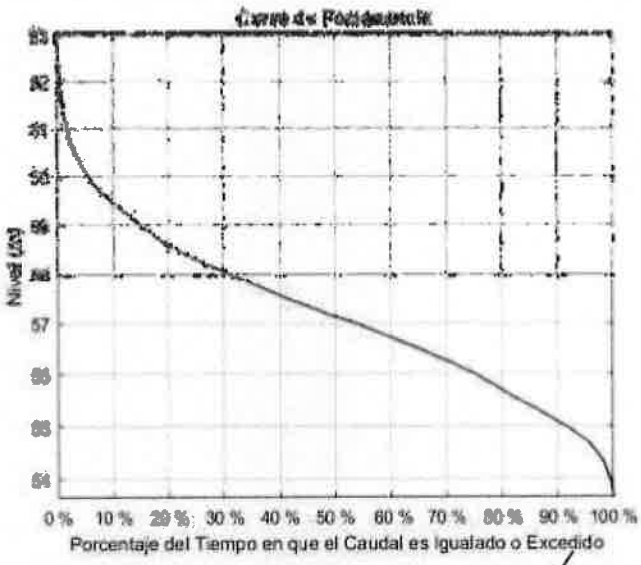


Figura 2.5: **Curva de permanencia de niveles del Río Paraguay**

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

A partir de esta serie, se utilizan diversas distribuciones de probabilidad teórica para asociar niveles de agua con Tiempo de Retorno. Los resultados de estas distribuciones son comparados con los resultados de la distribución empírica de la serie (a partir de datos observados) y se selecciona aquella que presente el mejor ajuste (mayor porcentaje de correlación).

2.2.1 Distribuciones de Probabilidad Teórica

Las distribuciones de probabilidad teórica permiten extrapolar el análisis de los eventos extremos para tiempos de retorno mayores. Las distribuciones utilizadas para el presente estudio se citan a continuación:

- Normal
- Log Normal
- Log Pearson Tipo III
- Gumbel

Los resultados se muestran en la Figura 6 y los ajustes de cada distribución en la Figura 7

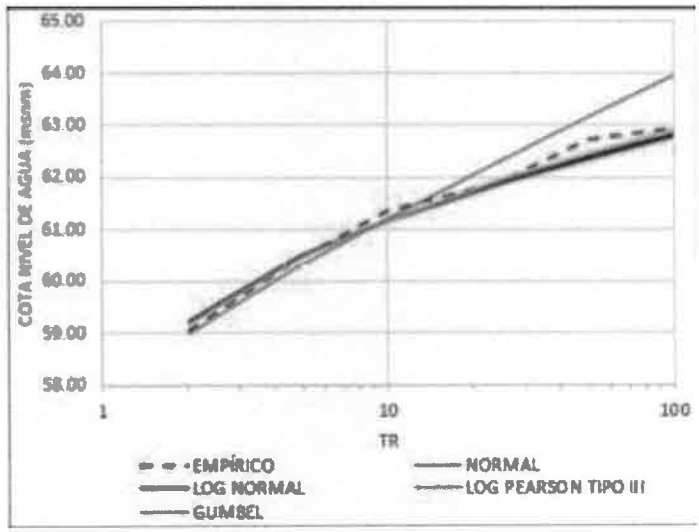


Figura 2.6: **Distribuciones de Probabilidad Teórica (curvas) Vs. Distribución de Probabilidad Empírica (puntos rojos)**

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

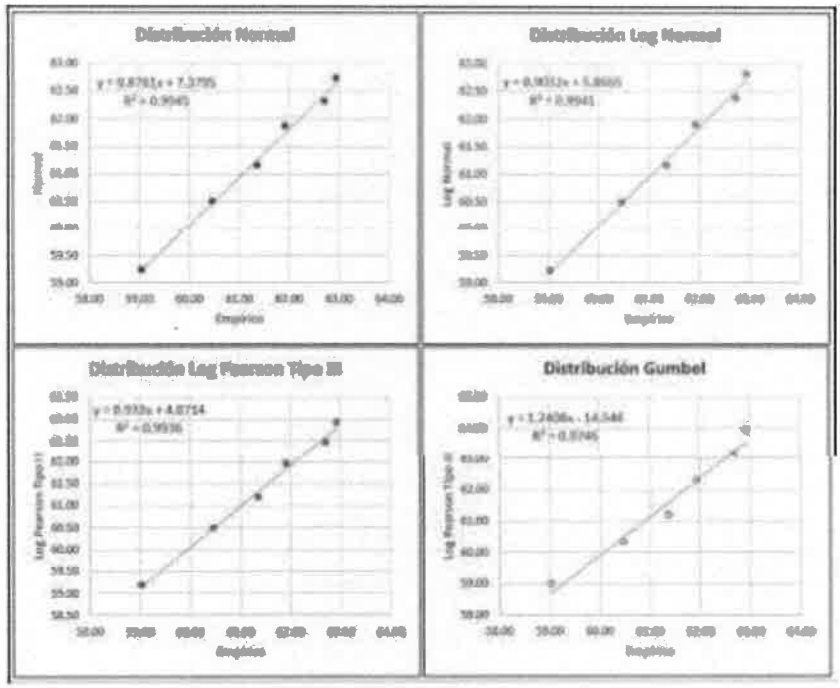


Figura 2.7: **Ajuste de las distintas distribuciones de probabilidad**

En la figura anterior, se observa claramente que los mejores ajustes se obtienen con la distribución normal, razón por la cual, se utiliza dicha distribución para la asociación de niveles a distintos periodos de recurrencia, tal como se muestra en la siguiente tabla. También a partir de estos valores se pueden determinar a partir de la ecuación "Altura-Caudal" con que se cuenta en la estación de Asunción los caudales del río Paraguay en dicha estación. La ecuación se presenta a continuación:

$$Q = 10{,}058h^3 - 24{,}128h^2 + 757{,}81h + 593{,}87$$

Donde Q(m3/s)

H(m) altura hidrométrica de la regla. Obs: "0" de la regla 54,04 msnm

A efectos de poder incluir las condiciones de caudal y nivel en el modelo para distintas situaciones se construyó la planilla que se presenta a continuación:

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Tabla 2.1 - Relación entre niveles, cotas y caudales

Nivel	Cota	Caudal [m³/s]
0	54.04	594
1	55.04	1338
2	56.04	2093
3	57.04	2922
4	58.04	3883
5	59.04	5037
6	60.04	6445
7	61.04	8166
8	62.04	10262
9	63.04	12792
9.530	63.57	14330
10	64.04	15817
10.96	65.00	19226

Tabla 2.2 - Niveles de aguas máxima del Rio Paraguay para distintos periodos de recurrencia (Distribución Normal)

TR	Nivel	Cota	Caudal [m³/s]
2	5.19	59.23	5283
5	6.46	60.5	7194
10	7.12	61.16	8397
25	7.83	61.87	9877
50	8.29	62.33	10948
100	8.7	62.74	11984
150	8.96	63	12682
500	9.530	63.57	14330

2.3 MODELACIÓN

2.3.1 Información general del Modelo HEC-RAS

HEC-RAS 2d es una herramienta informática del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos que cuenta con una extensión que permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D; basa su aplicación en las ecuaciones de Onda Difusiva y Sant Venant (a criterio del usuario) las cuales resuelve mediante el algoritmo de Volúmenes Finitos Implícitos. Lo novedoso de esta nueva versión, es que incorpora la ventana de interface RasMapper en la cual el usuario incorpora el modelo digital del terreno, lo cual es fundamental para la simulación en 2D.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

2.3.2 Modelo digital del terreno

Se ha modelado un tramo del Río Paraguay desde Puente Remanso hasta el puerto de Asunción. Se ha realizado una batimetría de la zona del puente propuesto y se ha complementado con información correspondiente al modelo digital del terreno (MDT) desarrollado por el Plan Maestro de Desagües Pluviales del Gran Asunción y otros datos de topografía conseguidos.

A partir de esta información se ha obtenido un modelo digital del terreno (MDT).

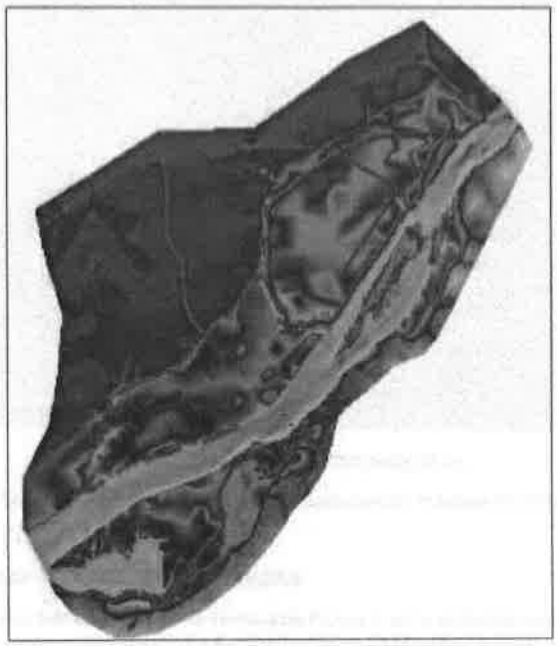


Figura 2.8: Imagen del modelo digital empleado

2.3.3 Peralte del Nivel de Agua determinado por la Modelación

Se ha mencionado en la Memoria Técnica de Proyecto, conforme al extracto presentado en la Figura 1, que la pendiente del Río Paraguay es de 4 cm//km. El aumento de nivel de agua que se produce entre el punto de medición de la Bahía de Asunción y la traza de la futura ubicación del Puente Héroes del Chaco va disminuyendo en la medida que aumenta el caudal de agua y el nivel de inundación. Conforme a la modelación realizada esa diferencia es de 6 cm para un TR100 años y 4 cm para 150 y 500 años. Conforme a ello se presenta en la siguiente tabla

Tabla 2.3 - Niveles de aguas máxima del Río Paraguay en la traza del futuro puente

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Figura 2.10: **Tabla de velocidades según Norma**

A continuación, debemos corregir al viento para pasarlo de una ráfaga de 3 seg a una de 1 hora. Para ellos empleamos el grafico de la *Figura 2.11*, el cual nos dará un factor de corrección. Esto es igual para los 3 tipos de paramentos.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

EM 1110-2-1100 (Part II)
30 Apr 02

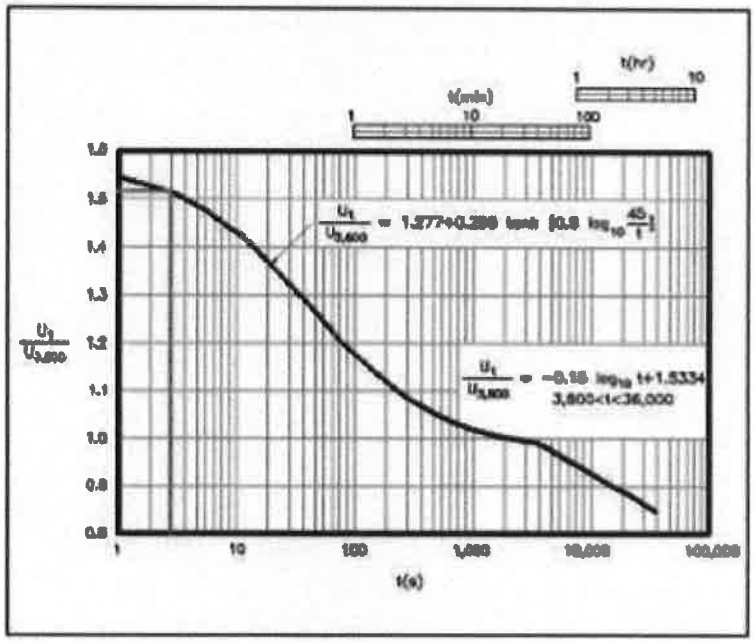


Figure II-2-1. Ratio of wind speed of any duration U_t to the 1-hr wind speed $U_{3,600}$

Figura 2.11: Grafico de corrección de duración del viento.

Ahora para poder continuar debemos corregir el viento por recurrencia, ya que la obtenemos de las tablas del reglamento son para 50 años, y es necesario para nuestra obra una recurrencia de 100 años *(Tabla 2.4)*. Además de esto, corregimos la velocidad del viento por un factor elaborado por El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, que tiene en cuenta la longitud del fetch (Tabla 2.5)

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Tabla 2.4 - Tabla de conversión para diferentes recurrencias.

Velocidad de pico de ráfaga para un intervalo medio de recurrencia de 50 años	
Intervalo medio de recurrencia (años)	Factor de conversión (V = 38 – 45 m/s)
500	1,23
200	1,14
100	1,07
50	1,00
25	0,93
10	0,84
5	0,78

2.4.2 Longitud del fetch

Para determinar correctamente la generación de oleaje, ya sea por una marea eólica o meteorológica, es necesario conocer el Fetch. Considerando que los niveles de agua que se tendrían en la zona de la traza serán muy bajos y que hay presencia de vegetación arbustiva, la longitud de Fetch será muy corta. Una comprobación de ello es que la diferencia de nivel entre el nivel de TR 100 años y la cota de terreno natural es superior a 50 cm solo en el sector del Riacho (Prog 8+440 y 8+600). Conforme a la siguiente figura se consideró una longitud de Fetch de 500 m para la zona del Riacho y 300 m para el resto.

Figura 2.12: Longitud de Fetch por sectores.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Se calcula el cálculo de un factor de corrección a la velocidad del viento basado en la longitud de fetch en función a la siguiente tabla. Considerando la baja longitud, solo se considera un factor de corrección de 1,08 para la longitud de 500 metros.

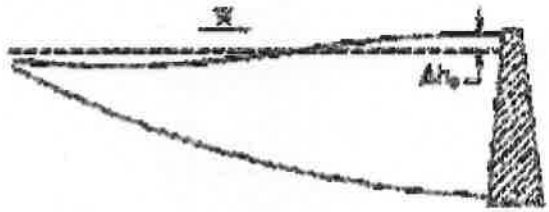
A continuación, se presenta la tabla con los cálculos de las longitudes de fetch y el factor de corrección para cada caso.

Tabla 2.5: Longitud efectiva Fetch y factor de corrección de viento.

Sector	Longitud del Fetch [m]	Factor de corrección
Sector Riacho	500	1,08
Sector General	300	1,00

2.4.3 Marea meteorológica

Para el cálculo de la marea meteorológica se empleó la siguiente expresión.



$$\Delta h_e = \frac{W^2 F}{62.800\, d}$$

Donde:

Δ he = sobreelevación con respecto al nivel de reposo, en metros

W = velocidad del viento, en Km/h

F = longitud del fetch, en Km

d = profundidad media del embalse en m.

Las distancias adoptadas para la longitud del fetch en los cálculos de sobreelevación por marea eólica suelen ser mayores que los valores calculados por marea meteorológica. De igual manera se realiza el cálculo a efectos de comparación, presentándolos en la Tabla 6.

Tabla 2.6: Sobrelevación por marea meteorológica.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Sector	Viento km/h	Coef Fetch	Viento km/h	Prof (d) m	Fetch km	Δ he m
Sector Riacho	126,71	1,08	136,85	1,5	0,5	0,10
Sector General	126,71	1,00	126,71	0,5	0,3	0,15

2.4.4 Oleaje por fetch

Existen muchas metodologías para estimar la altura de ola que sería producida por el viento. Se ha considerado la siguiente expresión empíricas para determinar la altura debido al oleaje. El fetch (F) se expresa en millas, la altura debido al oleaje en pies y la velocidad del viento en mph.

Creager : $$hs = \frac{F^{0,37} \cdot v^{0,48}}{3,41}$$

Se presentan a continuación los resultados con cada fórmula y un promedio de la altura de oleaje.

Tabla 2.7: Altura del oleaje por fetch

Sector	Fetch km	Viento km/h	Ola Creager m
Sector Riacho	0,5	136,85	0,49
Sector General	0,3	126,71	0,39

Considerando los resultados correspondientes a los apartados anteriores se presentan los resultados, adoptándose la mayor altura.

Tabla 2.8: Alturas adoptadas

Sector	Ola Met m	Ola Creager m	Altura Max m
Sector Riacho	0,10	0,49	0,49
Sector General	0,15	0,39	0,39

Considerando el nivel de agua de TR100 años, la altura de oleaje calculada y una revancha de 80 cm se presenta en la siguiente tabla la cota mínima de rasante que debería tenerse en cuenta.

Tabla 2.9: Nivel de rasante mínima propuesto

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Descripción	Sector Riacho	Sector General
Nivel de agua para TR 100	62,80	62,80
Altura de la ola de proyecto	0,49	0,39
Nivel de llegada de agua	63,29	63,19
Revancha considerada	0,80	0,80
Nivel de rasante mínima	64,09	63,99

2.5 CONCLUSIONES DEL APARTADO

CON BASE EN LOS ESTUDIOS REALIZADOS, EL NIVEL DE RASANTE PROPUESTO PODRÁ SER DE 64,10 METROS, LO CUAL ESTÁ EN CONCORDANCIA CON LOS NIVELES DEFINIDOS PARA EL PUENTE HÉROES DEL CHACO. ESTE NIVEL ES INCLUSIVE SUPERIOR AL TR500 CALCULADO PARA EL PUENTE DE 63,61 METROS.

3. ESTUDIO PRELIMINAR DE ALCANTARILLAS

3.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente informe se realiza en base al análisis preliminar de las alcantarillas de la Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón. Se ha identificado que en el proyecto licitado la cota de la rasante depende en algunos casos de la tapada mínima en las alcantarillas. Por ello se realiza un análisis de la ubicación, niveles y dimensiones de las mismas.

3.2 ESTUDIO DE ALCANTARILLAS

Se ha realizado la verificación de las cuencas de aporte, constatándose muy poca diferencia con lo presentado por la fiscalización. Se presenta en la figura siguiente la división de cuencas. Considerando que en algunas cuencas se considera que la descarga se realiza por más de una alcantarilla, algunas de ellas pueden estar sobrecargadas y otras sin funcionamiento. Por ello se realiza el análisis particular de cada sector considerando el relevamiento planialtimétrico recibido.

imagen

En el análisis realizado por la fiscalización se detectaron algunas alcantarillas con cotas superiores muy elevadas, razón por la que se realizó la verificación de esas situaciones con el relevamiento planialtimétrico. Se ha tomado como premisa principal tratar de lograr una rasante similar a la calzada existente, siempre que la cota no sea inferior a la rasante mínima de 64,10, propuesta como consecuencia de la posible inundación provocada por el Río Paraguay.

En la Prog. 1+880 se plantea colocar una ACS 1.0x1.0, cuando la existentes es ACS 1.2x0.5. Considerando que los niveles de terreno a ambos lados de la ruta son muy elevados por tratare ya de un área muy desarrollada, se propone utilizar una estructura similar a la existente, ya que

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

el área a drenar es solo una parte de la Subestática de la Ande. Con ello se plantea que la rasante sea similar a la existente.

En la Prog. 2+000 se considera una nueva alcantarilla antes de la rotonda prevista. La misma está correctamente planteada.

En la Prog. 3+815 me menciona la existencia de un puente y se propone un nuevo puente paralelo al mismo. Sin embargo, en dicha progresiva se cuenta con una alcantarilla, como puede verse en la figura siguiente. Se propone la prolongación de la alcantarilla.

En la Prog. 9+320 se menciona que la cota de fondo es de 63.20. Sin embargo, al revisar las cotas de terreno de aguas arriba y aguas abajo, se encuentra que la cota está en el orden de 61.70. Por ello se propone considerar esos niveles de fondo y verificar la alcantarilla existente, con lo cual no será necesario que la cota de rasante sea superior a la existente. Esta alcantarilla trabajará en conjunto con la prevista en la Prog. 9+433 que está a una cota de fondo similar y es de la misma característica.

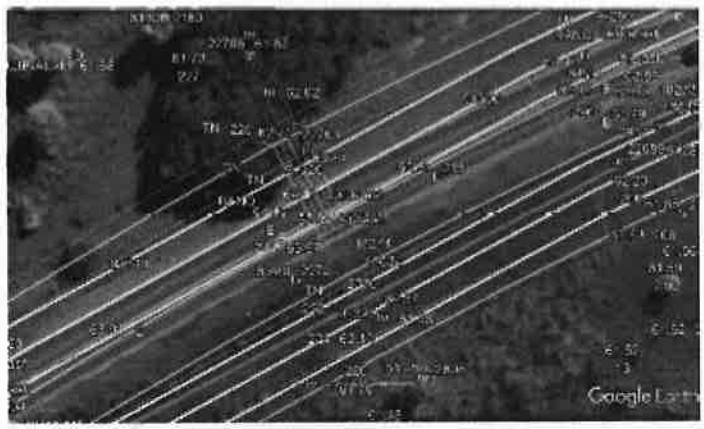


Figura 3.1: Alcantarilla Prog 9+320

En la prog 10+150, de acuerdo al relevamiento realizado el fondo de la salida de la alcantarilla celular existente es de 62,13 y el eje de la rasante 64.25. La alcantarilla existente es doble de 1.5x1.5 y se plantea instalar una doble de 2.0x2.0. Se plantea prolongar la existente y de ser necesario agregar una línea simple de 1.5x1.5. Con ello no es necesario modificar el nivel de la rasante y se puede instalar mejor la adicional de conformidad al acceso a la urbanización.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Figura 3.2: Alcantarilla Prog 10+150

En la Prog. 11+525, conforme al relevamiento realizado, la cota de fondo de la alcantarilla existente es de 62.48 y la rasante existente es de 64.72, con una tapada mínima. Se evidencia igualmente que los niveles de terreno son un poco superiores al fondo de la alcantarilla, posiblemente por colmatación de la zona ocasionada por el desarrollo urbano de la zona. Por el poco desnivel que existe entre el nivel de terreno y la rasante no es conveniente utilizar alcantarillas de mayor altura que la existente, porque ello implicaría una necesidad de mayor nivel de agua para que funciones, lo cual puede inundar la zona. Una situación similar ocurre con la alcantarilla de la Prog. 11+700, cuya cota de fondo de alcantarilla es inclusive superior. Se recomienda tanto en esta progresiva como en la 11+700 prolongar la estructura existente. No se recomienda un aumento de sección por lo que se explica a continuación respecto a estas alcantarillas y las siguientes.

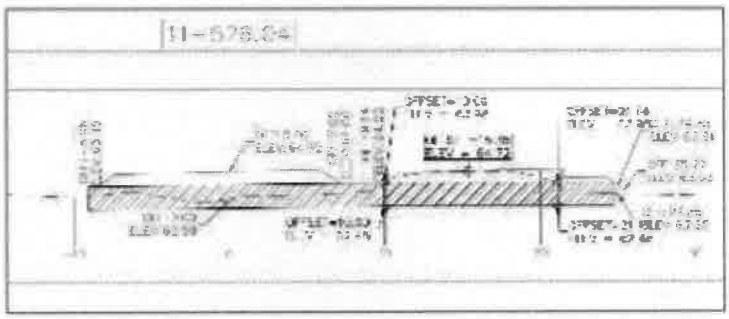


Figura 3.3: Alcantarilla Prog 11+525

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Conforme puede apreciarse en una imagen de Google Earth del 2009 en periodo de lluvias, las alcantarillas mencionadas trabajan solo como desborde de las alcantarillas ubicadas en las progresivas 13+950, 14+960 y 15+060, siendo esta última la de mayor importancia por su cota de cruce de la ruta.

Figura 3.4: Intersección con la Ruta N°12

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

En el perfil transversal que se presenta ve que la cota de fondo de la misma es de 60.80, muy inferior a las anteriormente mencionadas. En la Prog. 15+420 se cuenta también una alcantarilla con una cota similar de fondo. Además de ello posee un cauce definido y una zona baja de salida de las alcantarillas de las progresivas 14+960, 15+060 y 15+420 que ninguna de las anteriores posee. Para confirmar que este sistema funcione adecuadamente será de suma importancia contar con información del proyecto de la Ruta 12 en el punto marcado en círculo celeste. Así podrían verificarse los caudales de paso por cada alcantarilla.

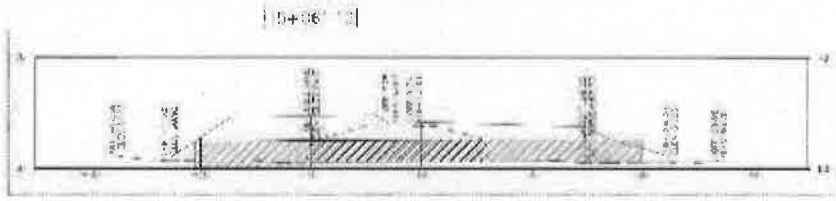


Figura 3.5: Alcantarilla Prog 15+060

En las imágenes actuales puede verse que en las progresivas 11+525, 11+700 y 13+950 ya se cuenta con un desarrollo urbano que impide el libre paso del agua, lo cual implica que se debe analizar el escurrimiento por banquina y la salida.

Figura 3.6: Alcantarillas Prog 11+525, 11+700 y 13+950

Esta situación no ocurre en las alcantarillas de las progresivas 14+960, 15+060 y 15+420. Esa situación se evidencia con la mancha de agua en la imagen satelital del 29/12/2015, cunado la inundación del Río Paraguay llegó a su pico más elevado en los últimos 30 años.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Figura 3.7: Alcantarillas Prog 14+960, 15+060 y 15+420

Ing. Sergio Samaniego
Intendente de Obra

000270
Doscientos setenta

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Mediante un análisis similar puede evidenciarse un sector bajo de posible cruce en la Prog 14+280, donde no hay aun desarrollo porque las cotas son bajas a ambos lados de la ruta. Esta situación debe sin embargo ser analizada en forma conjunta con el proyecto de la Ruta 12 por la intersección con la misma.

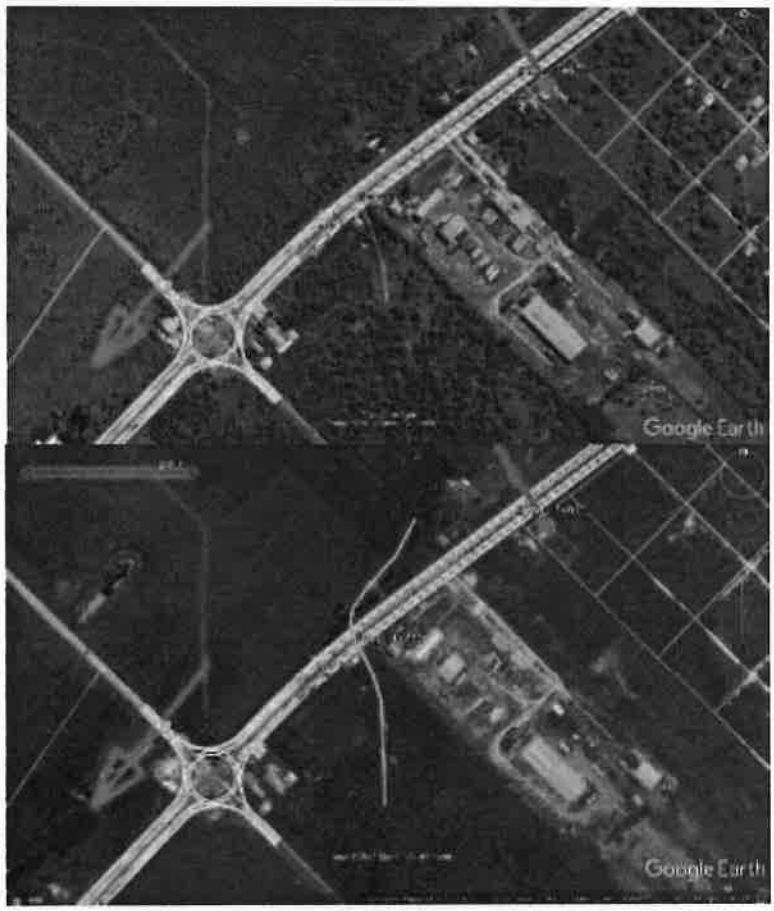


Figura 3.8: Alcantarilla a considerar en la Ruta N° 12

En la Prog. 14+766 existe población hacia aguas arriba y aguas debajo de la alcantarilla planteada, como puede verse en la siguiente figura. La parte de aguas arriba drena hacia el fondo de las propiedades para drenar hacia la Prog. 14+960. Por ello se plantea el paso de esta alcantarilla a la Prog. 14+280 mencionada anteriormente.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

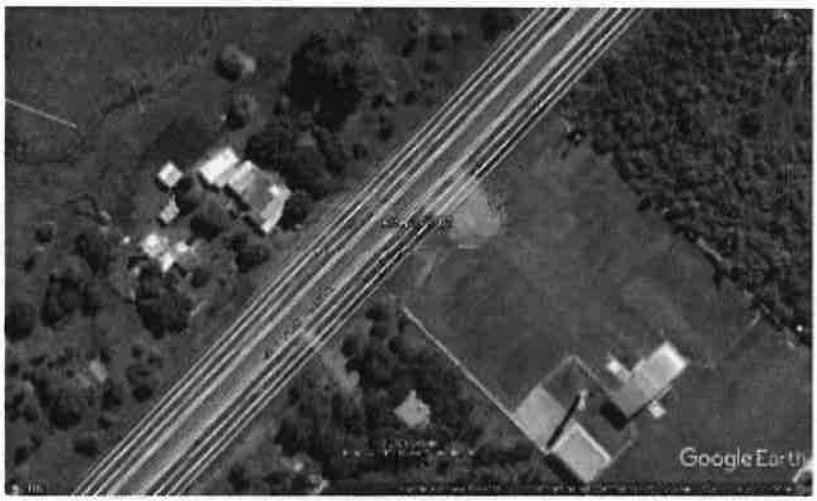


Figura 3.9: Alcantarilla Prog 14+766

En la Prog. 16+080 se plantea prolongar la alcantarilla existente. La misma sirve para el cruce del agua generada por un desarrollo urbano del sector. La ubicación de las alcantarillas de las progresivas 18+720, 18+940 y 19+160 debe ser analizada en forma conjunta con el municipio, ya que se encuentran en área urbana.

En la planilla siguiente se presenta un resumen de las observaciones realizadas en las alcantarillas propuestas para la duplicación.

Tabla 3.1: Resumen de observaciones

Progresiva	ODT DUPL	ODT EXIST	OBSERVACIONES
880	ACS-1.0x1.0	ACS-1.0x1.0	
1880	ACS-1.0x1.0	ACS-1.2x0.5	Se propone utilizar una estructura similar a la existente, ya que el área a drenar es solo de la subestática de la Ande.
2000	ACS-1.5x0.7	ACS-1.5x0.8	
2720	ACS-1.5x1.0	ACS-1.2x1.0	
3815	PTE 15x2	PTE 15x2	En el lugar se cuenta con una alcantarilla, no con un puente. Se propone prolongar la alcantarilla existente, sin modificar la rasante.
5140	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	
6040	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	
6565	ACS-2.0x1.0	ACS-2.0x1.0	

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

7640	ACS-2.0x1.5	ACS-2.0x1.5	
8445	PTE 20x3	PTE 15x3	
8485	ACT-3.0x3.0	ACT-3.0x3.0	
8610	PTE 60x3.5	PTE 60	
9326	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	Bajar la cota conforme a los niveles de terreno
9433	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	Trabajará en forma conjunta con la anterior
10150	ACD-2.0x2.0	ACD-1.5x1.5	Prolongar la alcantarilla existente y agregar una ACS-1,5x1,5. No aumentar altura de alcantarilla.
11525	ACT-1.5x1.0	ACD-1.5x1.5	la cota de fondo de la alcantarilla existente sumada a la altura de la misma es superior a la cota de la rasante existente
11700	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	
13996	ACS-1.5x1.0	ACS-1.5x1.0	
14766	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	Eliminar porque existe población hacia aguas arriba que aumentó la cota y hacia aguas abajo rellenado por una obra. Se plantea pasar a la Prog. 14+280
14960	ACD-1.0x1.0	ACD-1.0x1.0	
15060	ACT-2.0x2.0	ACT-2.0x2.0	Verificar alcantarilla de la Ruta 12 para calcular caudales de paso y necesidad de sección.
15420	ACT-1.5x1.0	ACT-1.5x10	Verificar alcantarilla de la Ruta 12 para calcular caudales de paso y necesidad de sección.
16080	ACS-1.0x1.0	ACS-1.0x1.0	
18720		ACS-1.5x1.0	Ubicar mejo según el desarrollo urbano existente.
18940	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	Ubicar mejo según el desarrollo urbano existente.
19160	ACD-1.5x1.5	ACD-1.5x1.5	Ubicar mejo según el desarrollo urbano existente.

3.3 CONCLUSIONES DEL APARTADO

CONFORME AL ANÁLISIS REALIZADO, EN NINGÚN CASO SE PLANTEAN ALCANTARILLAS QUE AUMENTEN LA ALTURA DE LAS EXISTENTES. NO EXISTE RAZÓN PARA AUMENTAR LA ALTURA DE LA RASANTE A COTAS SUPERIORES A LAS DE LA RUTA EXISTENTE COMO CONSECUENCIA DE LA INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS. LA ÚNICA LIMITANTE DE NIVEL SERÍA LA CONDICIONADA POR EL RÍO PARAGUAY, QUE, EN BASE EN LOS ESTUDIOS REALIZADOS, EL NIVEL DE RASANTE PROPUESTO EN EL APARTADO ANTERIOR ES DE 64,10 METROS.

4. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE ALCANTARILLAS Y PUENTES

4.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente capítulo contempla una revisión hidrológica e hidráulica del proyecto de Duplicación y Mejoramiento del Tramo: Rotonda Remanso R9 hasta Puerto Falcon. En la Figura 1 se puede visualizar las progresivas de la Duplicación.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

000267
Doscientos sesenta y siete

Figura 4.1: Localización de la zona de duplicación y sus respectivas progresivas.

4.2 HIDROLOGÍA

Para la revisión de los elementos de proyecto, se utilizan las curvas IDF de la estación meteorológica de la ciudad de Asunción, AISP por ser la EM más cercana.

La curva IDF a utilizar, es función del área de influencia de cada estación y de la ubicación del proyecto. Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia empleadas para la revisión del diseño fueron elaboradas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (Cuevas y Rolón, 2010).

En la Tabla 4.1 se puede visualizar la tabla de parámetros de la curva IDF utilizada, correspondiente a Asunción.

Tabla 4.1. Parámetros de la Curva IDF en Asunción

Parámetros	IDF
C	2251.92
n	0.19036
m	0.8763
d	28.00

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Una vez obtenida la intensidad de la precipitación, se ha procedido a distribuir la precipitación en bloques alternados, para TR = 25 años y TR = 50 años, como mostrado en las Figuras 4.2 y 4.3, respectivamente.

Histograma TR 25

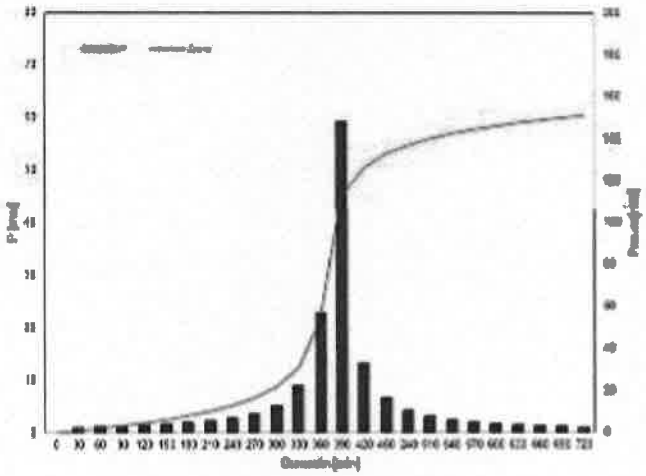


Figura 4.2: Hietograma de diseño para TR = 25 años.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Hietograma TR 50

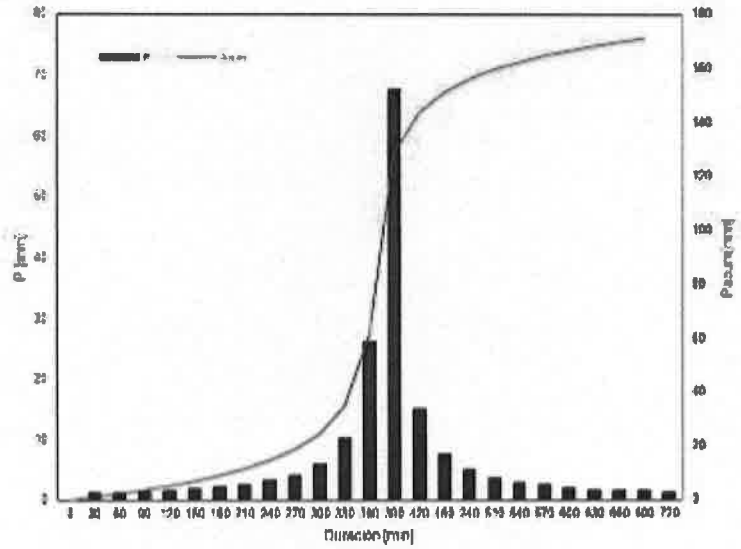


Figura 4.3: Hietograma de diseño para TR = 50 años

4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

4.3.1 Tasa de 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. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

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

El tiempo de retorno depende de la importancia del camino y de los riesgos y costos. Se adopta tiempo de recurrencia para la etapa de diseño, 25 (veinticinco) años, mientras que, para la etapa de verificación, 50 (cincuenta) años. Y para puentes 100 años y verificación para 150 años, atendiendo a lo indicado en el MCP-2019 (Manual de Carreteras del Py)

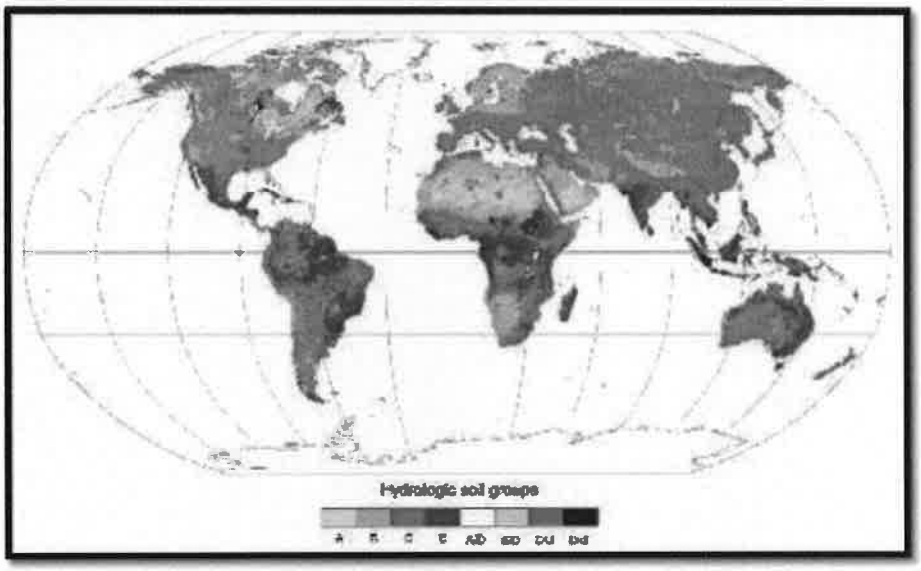


Figura 4.4: Tipo de suelo. Fuente: Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling - El Centro de Archivo Activo Distribuido del Laboratorio Nacional Oak para la biogeoquímica dinámica - ORNL DAAC

En este trabajo, se trata de la Región Occidental, por lo tanto, se ha aplicado el criterio de tipo de suelo según la localización geográfica, siendo un suelo tipo C mientras más al oeste se encuentre la cuenca de estudio. En cuanto al uso del suelo, se ha hecho una clasificación visual con imágenes de satélite de Google Earth.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

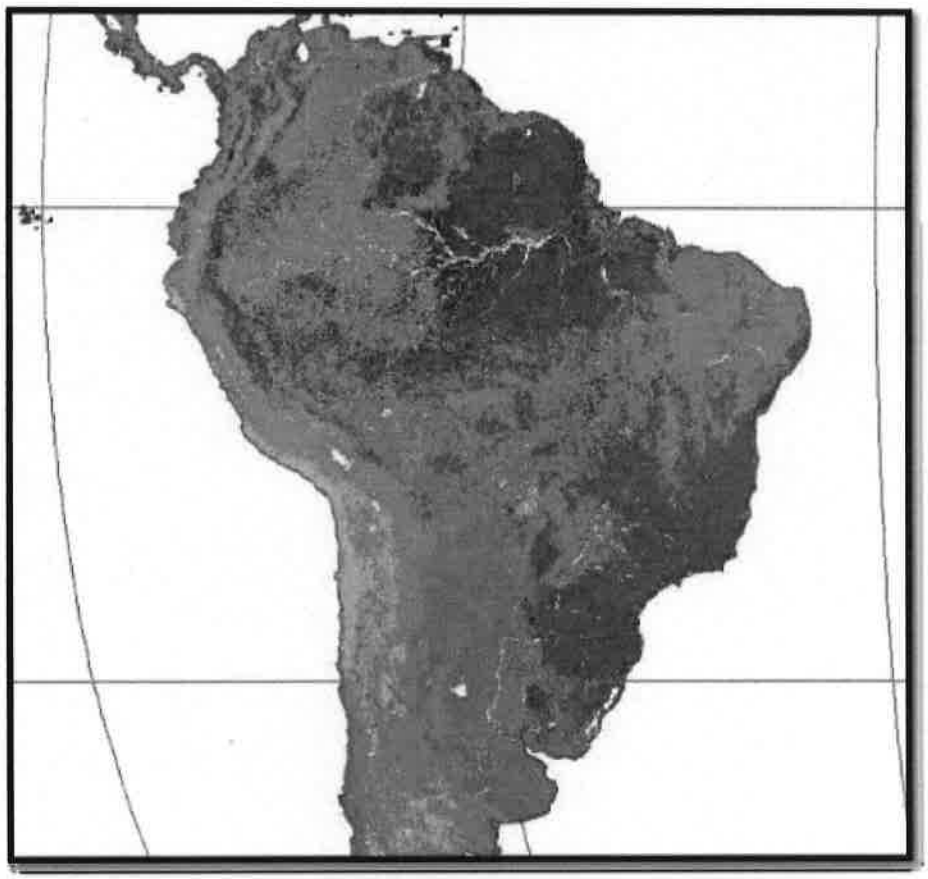


Figura 4.5: Tipo de suelo. Fuente: Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling - El Centro de Archivo Activo Distribuido del Laboratorio Nacional Oak para la biogeoquímica dinámica - ORNL DAAC

4.3.2 Tiempo de Concentración

Es el tiempo requerido para que la partícula de agua hidráulicamente más alejada alcance el punto de aforo de la cuenca.

Para la estimación del tiempo de concentración se consideró oportuna la utilización de la fórmula de Watt y Chow (1985) porque considera la pendiente en el análisis, parámetro de muy bajo valor en las cuencas estudiadas, y la longitud del canal que en general es elevado porque las cuencas estudiadas son muy angostas. Watt y Chow (1985) desarrollaron la ecuación para

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de

estimar el Tc con datos de la cuenca derivados de estudios previos, incluidos Kirpich (1940), Chow (1962), Kennedy y Watt (1967) y cuencas de Quebec. Los datos recopilados cubren una amplia gama de tamaños de cuencas, desde 0,5 ha hasta 5840 km2, y las cuencas se encuentran en América del Norte desde el medio oeste de los Estados Unidos hasta Quebec en Canadá. La longitud del canal varía de 100 m a 200 km y la pendiente del canal de 0.001 a 0.09 m/m.

Para determinar el tiempo de concentración, se usa la expresión de Watt y Chow, cuya expresión se presenta a continuación:

$$tc = 7{,}68 \cdot \left(\frac{L}{I^{0.5}}\right)^{0.79}$$

Donde: Tc: tiempo de concentración, en minutos

L: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, en kilómetros

I: pendiente promedio de la cuenca, en m/m

4.4 CAUDALES DE DISEÑO

Los caudales de diseño fueron calculados mediante el software HEC-HMS, introduciendo al mismo la precipitación, los parámetros de las pérdidas iniciales, y por último la transformación lluvia-caudal. En la Tabla 4.2 se puede visualizar las etapas consideradas para el cálculo de los caudales y cuales parámetros fueron considerados en cada etapa.

Tabla 4.2: Parámetros utilizados en el cálculo de la escorrentía.

Componente	Método	Parámetros
Precipitación	Tormenta de diseño en bloques alternados	Duración (min)
		Precipitación incremental (mm)
Pérdidas o abstracciones y generación de lluvia efectiva	Método SCS	Numero de Curva (CN)
Transformación Lluvia - Caudal	Hidrograma Unitario del SCS	Tiempo de retardo
		Factor de Pico

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

En la Tabla 4.3 es posible visualizar los valores de cada cuenca, utilizados para el cálculo del tiempo de concentración, y el respectivo tiempo de retardo, utilizado para el software HEC-HMS. También se ven los caudales pico de diseño obtenidos.

Tabla 4.3: Valores utilizados para el cálculo de los caudales de diseño, y caudales de diseño.

							Wilcb			TR 25	TR 50
Cuenca	Area (km2)	Area (ha)	L (m)	L(km)	S(m/m)	S (%)	Tc (min)	Tc (hs)	Lag Time (min)	Q (m3/s)	Q(m3/s)
1	36.36	3615.70	8506	8.506	0.0007	0.0705	732.35	12.21	439.41	12.90	16.70
2	233.48	23348.20	31978	31.978	0.0002	0.0188	3517.55	58.63	2130.53	19.90	25.90
3	10.92	1091.84	3693	3.693	0.0016	0.1625	272.48	4.54	163.49	8.90	11.50
4	8.92	892.17	2205	2.205	0.0027	0.2721	147.89	2.46	88.73	6.80	8.80
5	9.14	914.28	3138	3.138	0.0019	0.1912	224.66	3.74	134.80	5.30	6.90
6	20.08	2007.56	9533	9.533	0.0006	0.0629	838.26	13.97	502.96	8.50	10.90
							Promedio	15.93	573.32		

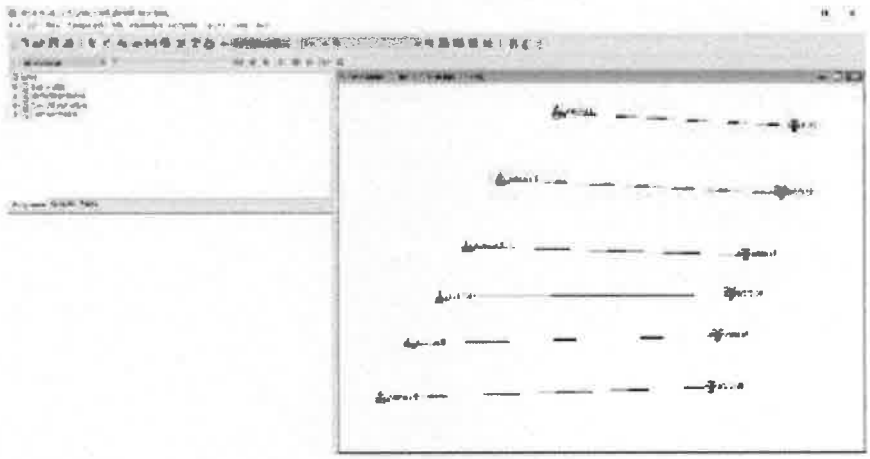


Figura 4.6: Proyecto en el HEC HMS para la estimación de los caudales de diseño.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

000260
Doscientos sesenta

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Global Summary Results for Run "Run tr25"

Project: falcon Simulation Run: Run tr25

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: Cuenca-1
End of Run: 02Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: TR25
Compute Time: 21Sep2021, 16:43:12 Control Specifications: TR25

Show Elements: All Items Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrolo

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
cuenca1	36.16	12.9	01Jan2000, 19:00	13.82
cuenca 2	233.48	19.9	02Jan2000, 00:00	2.77
afore c2	233.48	19.9	02Jan2000, 00:00	2.77
afero	36.16	12.9	01Jan2000, 19:00	13.82
cuenca 3	10.92	8.9	01Jan2000, 16:30	30.76
afero c3	10.92	8.9	01Jan2000, 16:30	30.76
cuenca 4	8.92	6.8	01Jan2000, 16:30	28.69
afero c4	8.92	6.8	01Jan2000, 16:30	28.69
cuenca 5	9.14	5.3	01Jan2000, 17:30	22.50
afero c5	9.14	5.3	01Jan2000, 17:30	22.50
cuenca 6	20.08	8.5	01Jan2000, 18:30	16.43
afero c6	20.08	8.5	01Jan2000, 18:30	16.43

Figura 4.7: Resultados obtenidos del HEC-HMS para TR = 25 años.

Ing. Sergio Samanta
Superintendente de ...

000259
Doscientos cincuenta y nueve

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

Global Summary Results for Run "run tr50"

Project: falcon Simulation Run: run tr50

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: Cuenca-1
End of Run: 02Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: TR50
Compute Time: 21Sep2021, 16:43:36 Control Specifications: TR50

Show Elements: All Elements Volume Units: (MM) (1000 M3) Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
cuenca1	36.16	16.7	01Jan2000, 19:00	17.87
cuenca 2	232.49	25.9	02Jan2000, 00:00	3.61
afore c2	232.48	25.9	02Jan2000, 00:00	3.61
afore	36.16	16.7	01Jan2000, 19:00	17.87
cuenca 3	10.92	11.5	01Jan2000, 16:00	39.72
afore c3	10.92	11.5	01Jan2000, 16:00	39.72
cuenca 4	8.92	8.8	01Jan2000, 16:30	37.25
afore c4	8.92	8.8	01Jan2000, 16:30	37.25
cuenca 5	9.14	6.9	01Jan2000, 17:30	29.17
afore c5	9.14	6.9	01Jan2000, 17:30	29.17
cuenca 6	20.08	10.0	01Jan2000, 18:30	21.09
afore c6	20.08	10.0	01Jan2000, 18:30	21.09

Figura 4.8: Resultados obtenidos del HEC-HMS para TR = 50 años.

4.4.1 Morfología de cuencas

A partir de la topografía relevada—perfil altimétrico– y del diseño geométrico del Camino se definen los divisores de agua, que delimitaran las cuencas aparentes que aportan a la obra vial y con ello se tienen condiciones de establecer y verificar los diferentes tipos de obras de desagüe necesarios revisar para la obra vial. El camino intercepta cauces paralelos muy poco definidos, los que trabajan en forma conjunta o separada en función al nivel al que alcanzan las aguas. Se definen cuencas en correspondencia con la topografía de la zona a efectos de la verificación de las obras transversales. En el caso del Riacho se ha delimitado una cuenca señalada con el número 3 para verificar las obras paralelas al mismo. El análisis del riacho se realiza de manera separada. La mayor parte de la traza pasa por sitios bajos, con pocas zonas relativamente más altas.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

INSASA
Ingeniería Saludable S.A.

Obra de Rehabilitación y Duplicación del Tramo Remanso Ruta PY09 (Vista Alegre) – Puerto Falcón

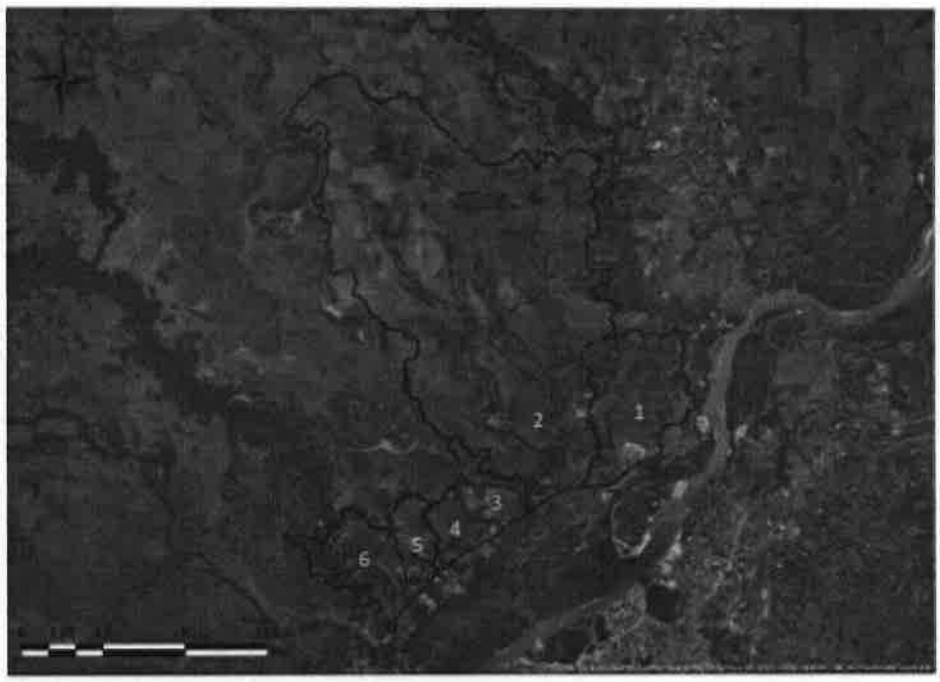


Figura 4.9: Esquema General de las cuencas analizadas.

Ing. Sergio S...
Superintendente ...

000257
Doscientos cincuenta y siete

LISTADO DE ALCANTARILLAS NUEVAS Y REEMPLAZOS DE LAS EXISTENTES.

000256
Doscientos cincuenta y seis

INFORME DE OBRAS - EXISTENTES					PROPUESTA	
PRG	DESCRIPCION	COMENTARIOS	COTA LI	COTA LD	PROG. NUEVA	DESCRIPCION
0+880.00	ACD 2,00 x 1,35	Se encontro piso de fondo	63.07	63.22	0+868.00	ACS 1,00 x 1,00
1+880.00	APS 2,00	Pontillón. Sin piso de fondo	63.29	63.12	1+875.00	ACD 1,00 x 1,00
					1+193.00	ACD 1,00 x 1,00
2+720.00	APS 2,00	Pontillón. Sin piso de fondo	63.91	64.49	2+729.00	ACD 1,00 x 1,00
3+815.00	ACT 5,00 x 5,00	Se encontró piso de fondo	60.30	60.31	3+813.00	PTE 15,00
5+140.00	ACD 2,00 x 2,00	Se encontró piso de fondo	62.73	62.81	5+133.00	ACD 1,50 x 1,50
6+080.00	ACD 2,00 x 1,40	Se encontró piso de fondo	63.09	63.07	6+088.00	ACD 1,50 x 1,50
6+680.00	[illegible]	Pontillón. Sin piso de fondo	63.18	63.20	6+680.00	ACD 1,00 x 1,00
7+640.00	[illegible]	Pontillón. Sin piso de fondo	63.47	64.07	7+670.00	ACD 1,50 x 1,50
8+485.00	ACT 5,00 x 5,00	Se encontró piso de fondo	59.87	59.90	8+447.00	PTE 20,00
					8+485.00	ACT 3,00 x 3,00
8+608.00	PTE 60,00				8+608.00	PTE 60,00
					9+326.00	ACD 1,50 x 1,50
9+433.00	ACD 2,00 x 1,50	h= 1,75 LD. 1,50 LI. Se encontro piso de fondo	61.21	61.27	9+433.00	ACD 1,50 x 1,50
10+150.00	APD 2,00	Cada compartimiento tiene 2 x 2 . Altura hidraulica 1,30m			10+152.00	ACD 2,00 x 2,00
11+525.00	APS 2,00	Altura hidraulica 0,50m			11+527.00	ACT 1,00 x 1,00
					11+806.00	ACD 1,50 x 1,50
13+020.00	APS 2,00	Altura hidraulica 0,50m			13+029.00	ACD 1,00 x 1,00
14+197.00	APS 2,00	Altura hidraulica 0,50m			14+177.00	ACD 1,00 x 1,00
14+525.00	APS 2,00	Continua con ATS 0,80 y long. 40m.			14+525.00	ACD 1,00 x 1,00
					14+760.00	ACD 1,50 x 1,50
					14+956.00	ACD 1,00 x 1,00
15+060.00	ACT 2,00 x 2,00				15+063.00	ACT 2,00 x 2,00
15+420.00	ACT 2,00 x 2,00				15+426.00	ACT 2,00 x 2,00
					16+076.00	ACS 1,00 x 1,00

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

4.6 VERIFICACIÓN DE LOS PUENTES

SE HA VERIFICADO QUE EN LA MEMORIA DE INGENIERÍA DEL PROYECTO EL ANÁLISIS DE LOS PUENTES VERIFICA, PARA CAUDALES SUPERIORES A LOS QUE HEMOS ESTIMADO, EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS EXISTENTES, AGREGANDO UNA ALCANTARILLA DOBLE DE 3X3 ENTRE EL PUENTE DE 60 METROS Y EL ALIVIADERO DE 15 METROS.

SE PROPONE TOMAR LAS MISMAS CONSIDERACIONES DE SECCIÓN Y FONDO DE VIGA PARA LA DUPLICACIÓN.

Progr	ODT DUPL	ODT EXIST
3815	PTE 15x2	PTE 15x2
8445	PTE 20x3	PTE 15x3
8610	PTE 60x3.5	PTE 60

CONCLUSION DEL ESTUDIO:

1 Conforme al análisis estadístico de la cota de aguas máximas del Rio Paraguay, se ha determinado el nivel de rasante mínima para el desarrollo del proyecto, en base a los estudios realizados lo cual está en concordancia con los niveles definidos para el Puente Héroes del Chaco. Se ha adoptado el nivel de rasante propuesto de 64,10 metro, que es inclusive superior al tr500 calculado para el Puente de 63,61 metros Héroes del Chaco sobre el Rio Paraguay.

2 Considerando la propuesta de realizar la ampliación de la ruta, no una paralela, la propuesta es reemplazar todas las obras de drenaje (alcantarillas) existentes debido al mal estado de conservación y estructural, conforme al inventario y relevamiento del estado de las mismas, con lo cual se lograra unificar en una sola estructura y dimensión el paso en todo el ancho de la plataforma conforme al redimensionamiento hidráulico para la duplicación, con la adición de nuevas alcantarillas necesarias conforme al estudio.

3 Se ha verificado que en la memoria de ingeniería del proyecto el análisis de los puentes verifica, para caudales superiores a los que hemos estimado, el correcto funcionamiento de los existentes, agregando una alcantarilla doble de 3x3 entre el puente de 60 metros y el aliviadero de 15 metros.

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente

000254
Doscientos cincuenta y cuatro

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA PARA EL DISEÑO DE LA VARIANTE NORTE DE LA RUTA PY 09 – REMANSO - FALCÓN.

INFORME FINAL

PROFESIONAL HIDRÓLOGO
Ing. Benito Pereira, M.Sc.
Reg. MOPC N° 1791
CT Consultor Ambiental N° I-1003

MAYO 2022

000253
Doscientos cincuenta y tres

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN ***1***

2. HIDROLOGÍA ***1***

2.1 Delimitación de Cuencas **1**

2.2 Precipitación **2**

2.3 Métodos Utilizados para el cálculo de Caudales de Diseño **3**

2.3.1 Método Racional 3

2.4 Estimación de Parámetros para el Método Racional **3**

2.4.1 Coeficiente de Escorrentía 3

2.4.2 Intensidad de precipitación 4

2.4.3 Tiempo de Retardo 4

1.1 Resultados: Caudales de Diseño **5**

2. HIDRÁULICA ***5***

3.1 Dimensionamiento de Alcantarillas **5**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cuencas de aporte a la variante Remanso Falcón 2

Figura 2 Polígonos de Thiessen para el Paraguay 2

Figura 3 Curvas IDF de Asunción 3

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Criterios utilizados para la selección del Tiempo de Retorno 1

Tabla 2 Criterios para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía 4

Tabla 3 Parámetros utilizados y resultados, del cálculo de caudales de diseño por Método Racional 5

Tabla 4 Obras de arte transversales propuestas para el tramo de estudio 6

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de Obra

1. INTRODUCCIÓN

En presente documento se presentan los estudios de hidrología e hidráulica realizados en el marco del diseño de la Variante Norte de la ruta PY 09 – Remanso – Falcón.

Como criterio de diseño se sigue lo establecido en las guías de diseño del Manual de Carreteras del Paraguay (MCP). Así, en lo que respecta al tiempo de recurrencia (TR), para las obras menores ($S < 1.75m^2$) se adopta un TR de 25 años para el diseño, en el caso de obras mayores ($S > 1.75m^2$) se utiliza un TR de 50 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 (%)	
			Verificación[5]			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	- -

Tabla 1: Períodos de retorno para diseño

2. HIDROLOGÍA

Este apartado tiene como objetivo el cálculo de los caudales de diseños a ser utilizados en el dimensionamiento de las obras correspondientes. Se utiliza la siguiente metodología:

a. Preparación de cartografía del área de estudio:

1) Incorporación de planos de topografía sobre mapa base del área, el cual consiste en datos de Estadísticas y Censo (DGEEC) y el Modelo Digital de Elevación SRTM 90 x 90 m.

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

3) Georreferenciación de imágenes satelitales de Google Earth para la determinación de usos de suelo.

b. Se utiliza la curva IDF de Asunción desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la UNA / DINAC actualizada al año 2009 por Cuevas-Rolón, para la selección de la intensidad de precipitación.

c. Cálculo de caudales para cada obra (alcantarilla o puente). Se utiliza el Método Racional para el cálculo del caudal, ya que no se presentan cuencas mayores a 2 km².

2.1 Delimitación de Cuencas

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

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente

000251
Doscientos cincuenta y uno

cuencas en base al modelo Digital de Elevación SRTM (res. 90 x 90 m). Esta delimitación se puede ver en las siguientes figuras:

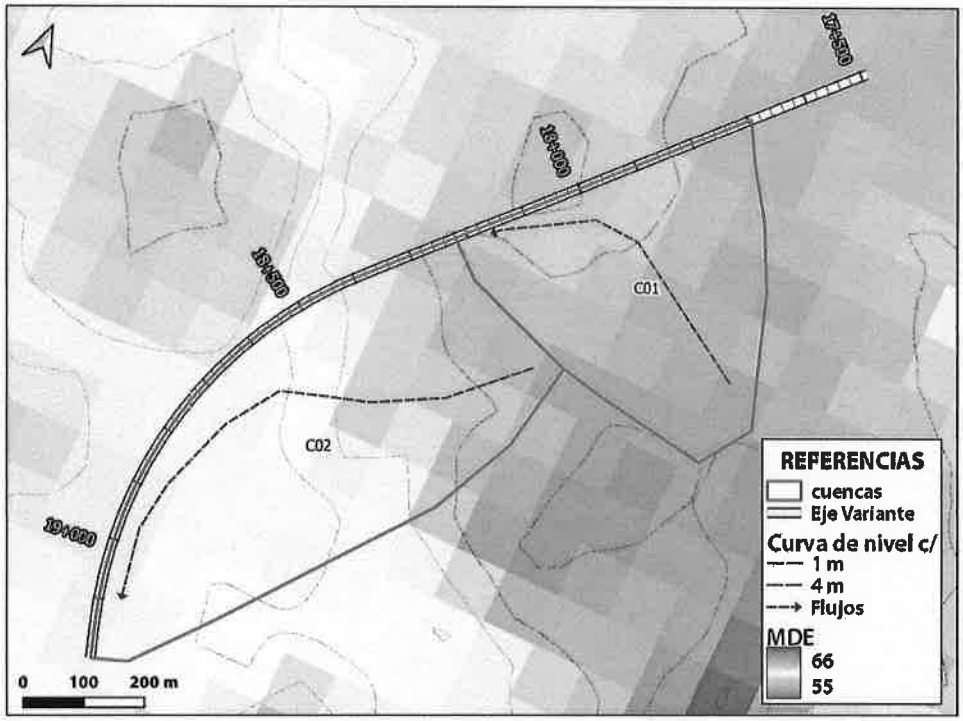


Figura 1 Cuencas de aporte a la variante Remanso Falcón

2.2 Precipitación

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

Ing. Sergio S...
Superintende...

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 Asunción, tal como se muestra en la **Figura 3**.

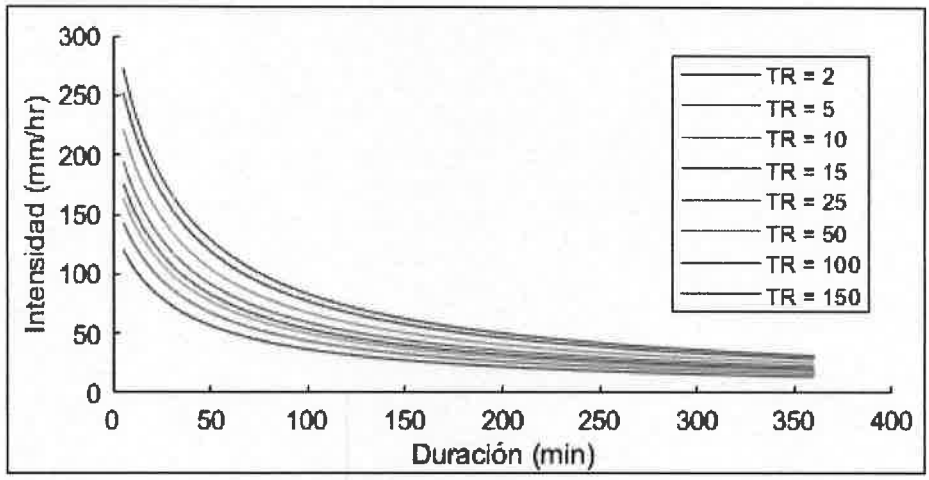


Figura 3 Curvas IDF de Asunción

Una limitación de estas curvas es que fueron diseñadas con lluvias de hasta 6 horas (360 min). Entre las cuencas delimitadas para los tramos de estudio no se presenta ninguna que precise una duración superior a 6 horas, por lo cual no se requieren análisis más profundos.

2.3 Métodos Utilizados para el cálculo de Caudales de Diseño

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

2.3.1 Método Racional

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

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

Donde:

C = Coeficiente de Escurrimiento.
i = Intensidad de Precipitación, de la Curva IDF, donde D = Tc, F = 1/50 años.
A = Área de la cuenca (km2).

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de O...

2.4 Estimación de Parámetros para el Método Racional

2.4.1 Coeficiente de Escorrentía

En el Método Racional, el Coeficiente C representa la porción (o proporción) de la lluvia que escurre hasta el cauce, y como tal, su valor se encuentra entre 0 (infiltración completa, nada de escurrimiento) y 1 (escurrimiento completo, nada de infiltración). Este coeficiente se encuentra tabulado para áreas urbanas donde se conoce bien el estado de las superficies, tal como asfalto, veredas, techos, etc. Para el área rural, se recomienda utilizar la

metodología propuesta por el Manual de Carreteras del Paraguay (MCP); esta metodología asigna pesos a factores que inciden en el escurrimiento, tal como el relieve, tipo de cobertura, infiltración, almacenamiento, etc.

Tabla 2 Criterios para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%	0,20-0,28 Cerros con pendientes entre 10 y 30%	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes menores al 5%
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura Vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura	0,06-0,08 Regular a buena;50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0,04-0,06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente
Almacenamiento Superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos.
Si T > 10 años Amplificar Resultado por: T = 25 ; C x 1,10 T = 50 ; C x 1,20 T = 100 ; C x 1,25				

En base al criterio de la **Tabla 2**, se estiman los valores correspondientes a cada factor según las características del terreno a lo largo de la traza. Los valores utilizados se presentan en la **Tabla 3**.

2.4.2 Intensidad de precipitación

Las intensidades que serán utilizadas en el Método Racional dependen de la Duración de Tormenta (asumida igual al Tc) y del Tiempo de Retorno adoptado. Los valores de intensidad utilizados se muestran en la **Tabla *3***

4.1.7.1. Tiempo de concentración

Ing. Sergio Samar
Superintendente de

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

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

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

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

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

Donde:

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

1.1 Resultados: Caudales de Diseño

Aplicando el método expuesto en los apartados anteriores, se generan caudales de diseño para distintos periodos de recurrencia, tal como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3 Parámetros utilizados y resultados, del cálculo de caudales de diseño por Método Racional

Cuenca	Long (m)	Pend. (%)	Área (ha)	Coeficiente C	Tc (hr)	TR diseño (años)	I50 (mm/hr)	Q diseño (m3/s)
C01	529	0.19	17.1	0.32	0.68	50	116	1.76
C02	875	0.37	26.8	0.32	0.77	50	109	2.58

2. HIDRÁULICA

En este apartado se expone la cantidad de obras de arte transversales requeridas a lo largo del tramo en cuestión.

4.2. 3.1 Dimensionamiento de Alcantarillas

El diseño de las alcantarillas se realiza considerando los caudales obtenidos en el capítulo anterior. Existen diversos métodos para el dimensionamiento de alcantarillas, y cada uno depende de las características del sitio de emplazamiento.

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

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

a.2 Como vertedero u orificio

Ing. Sergio Samaniego
Superintendente de