



OBRAS DE PROTECCION DE MARGENES

RIO GRANDE

LOCALIDAD DE TILCARA

ANEXO I

PERFILES TRASNVERSALES CON PROTECCION DE MARGENES



Relevamiento TopoBatimetrico

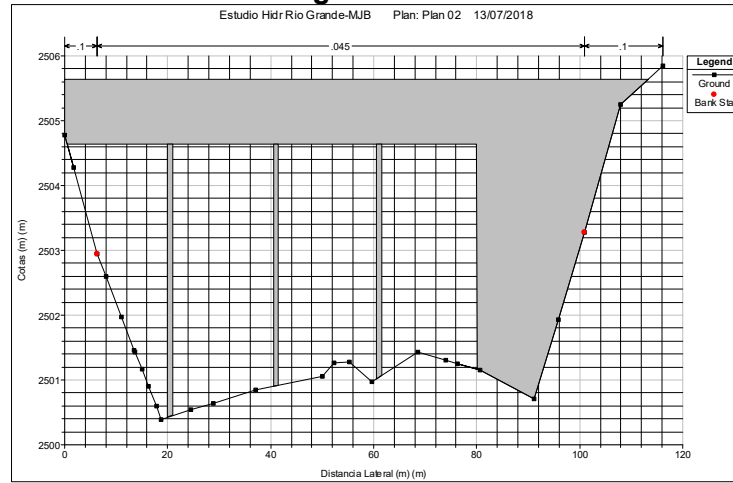




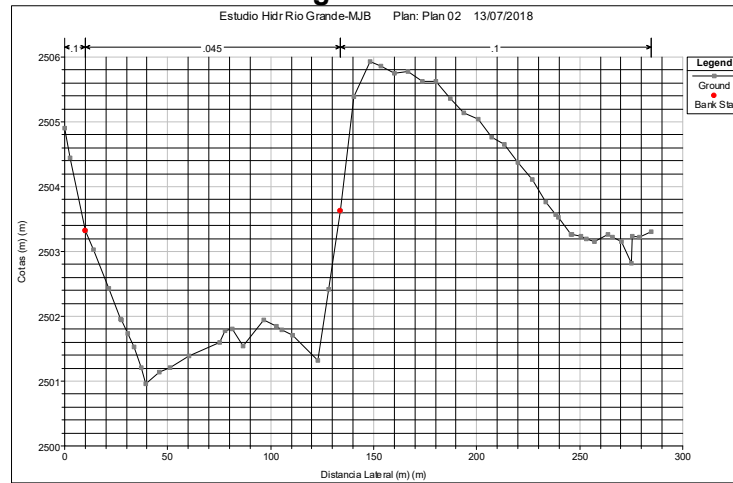
PERFILES TOPOBATIMETRIA



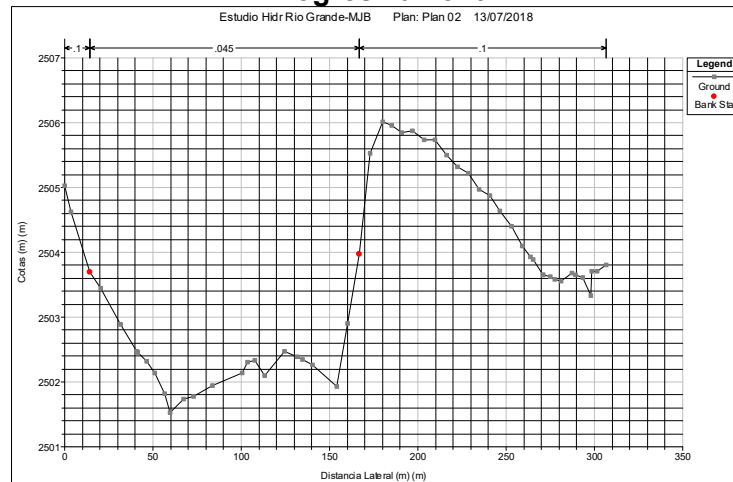
Progresiva 1486



Progresiva 1556

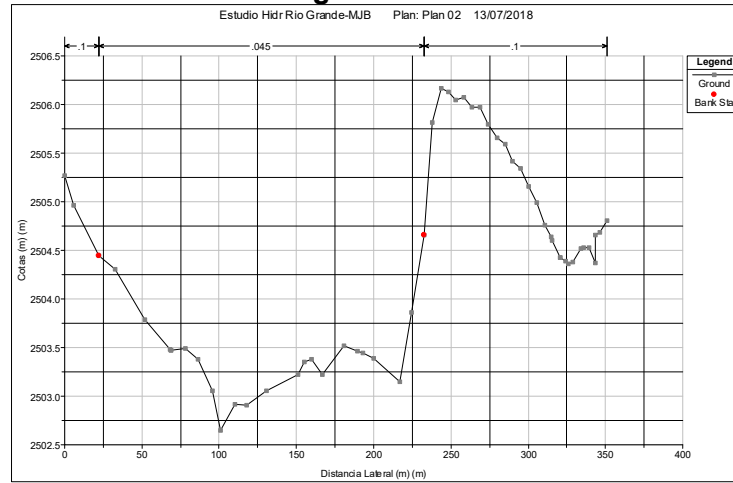


Progresiva 1616

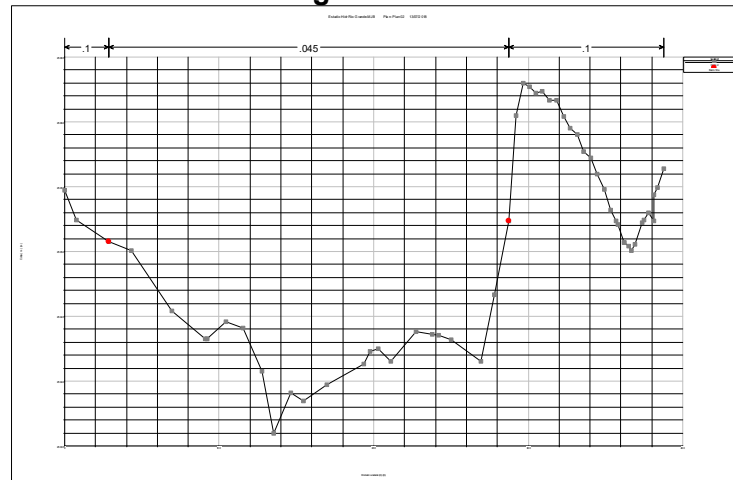




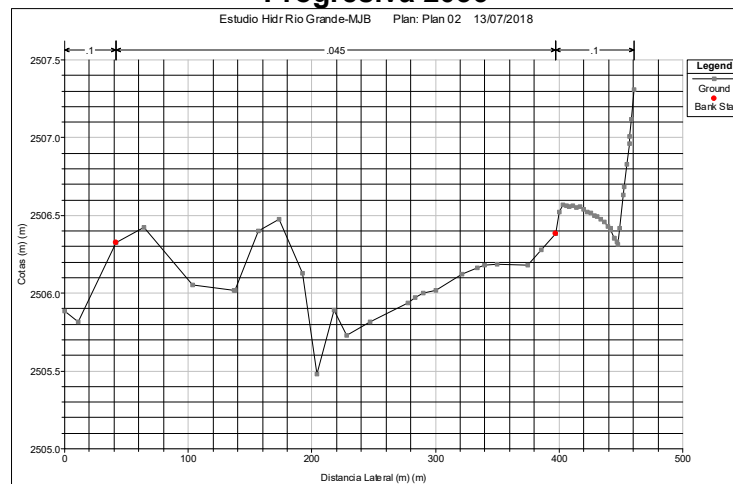
Progresiva 1735



Progresiva 1886

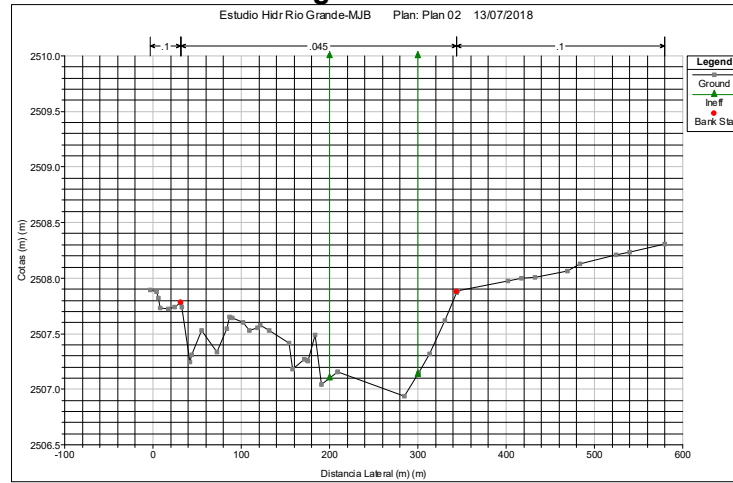


Progresiva 2036

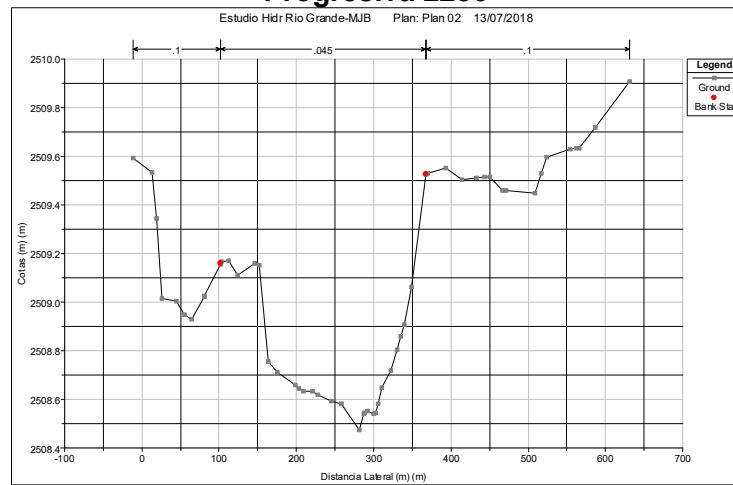




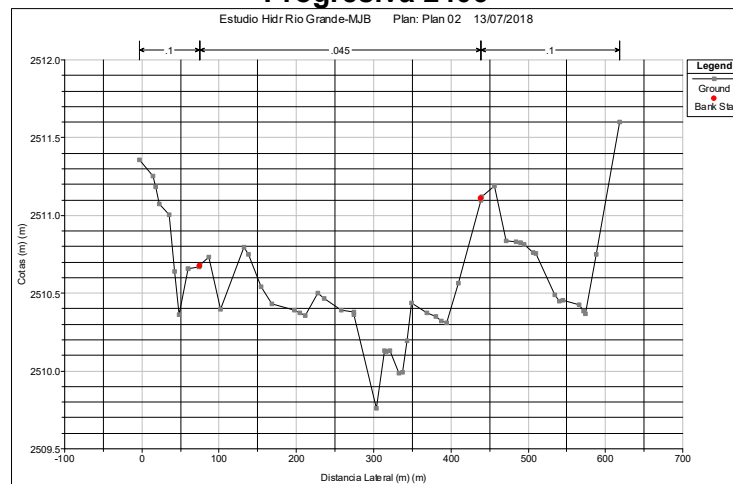
Progresiva 2136



Progresiva 2286

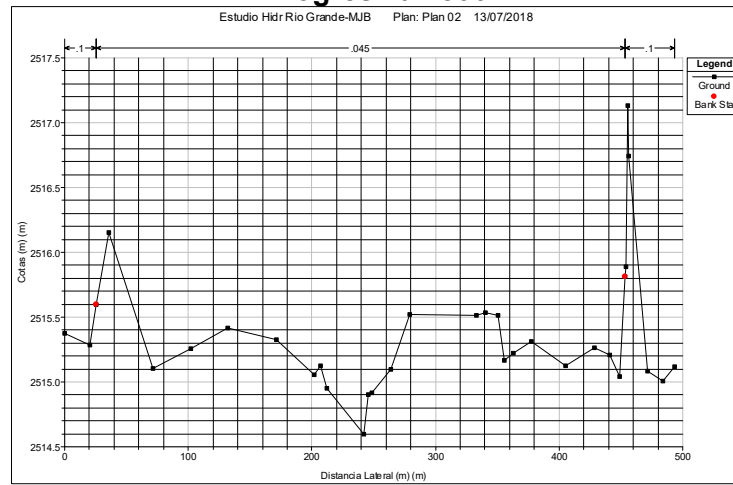


Progresiva 2406

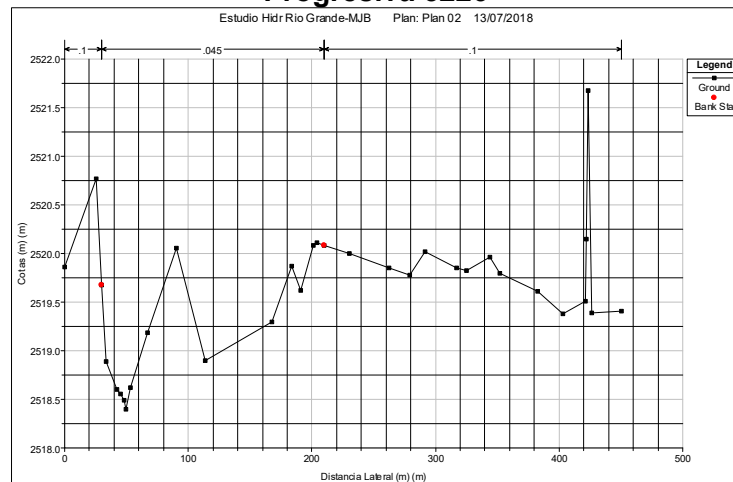




Progresiva 2806



Progresiva 3226

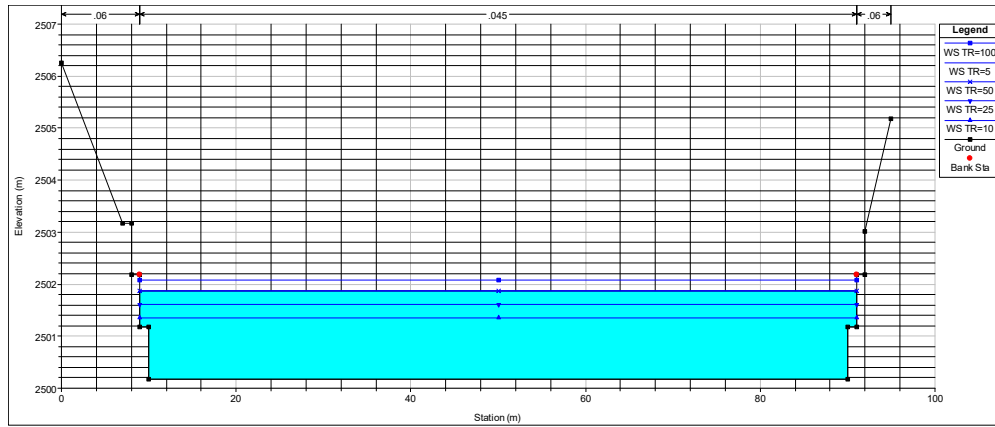




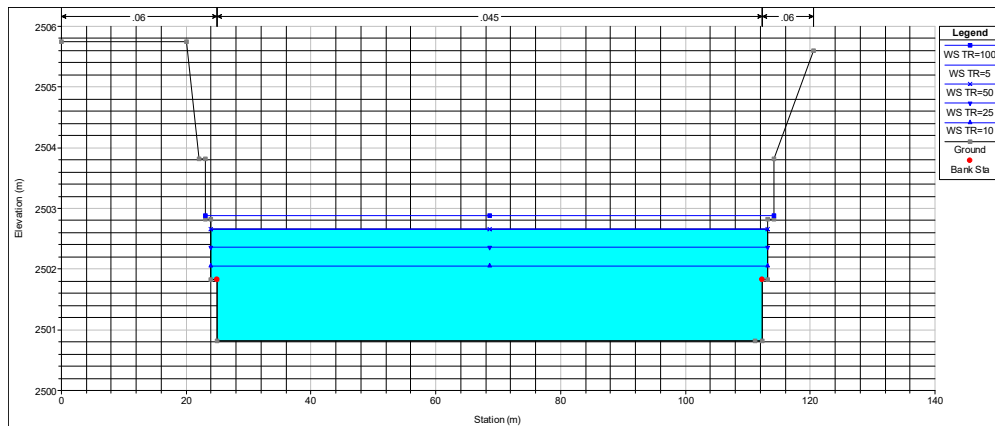
PERFILES C/ OBRAS DE DEFENSA DE MARGENES



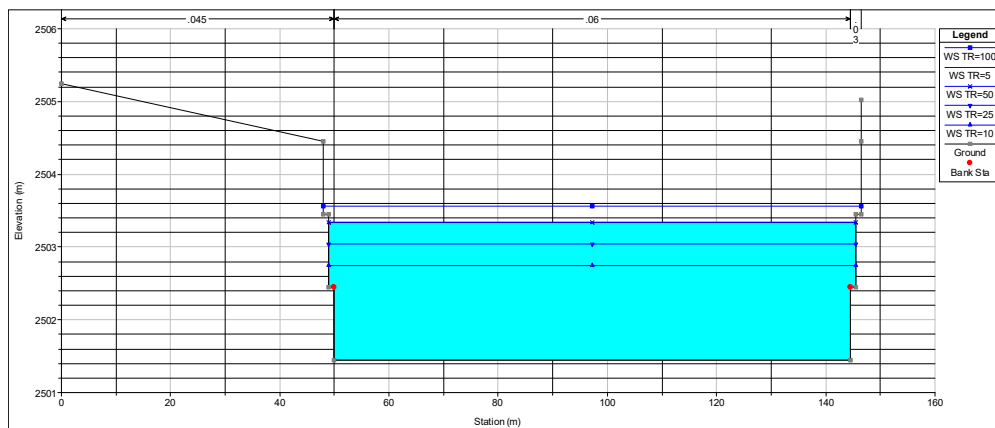
Progresiva 0,00 Cota de Fondo 2500,18



Progresiva 67,5 Cota de Fondo 2500,82

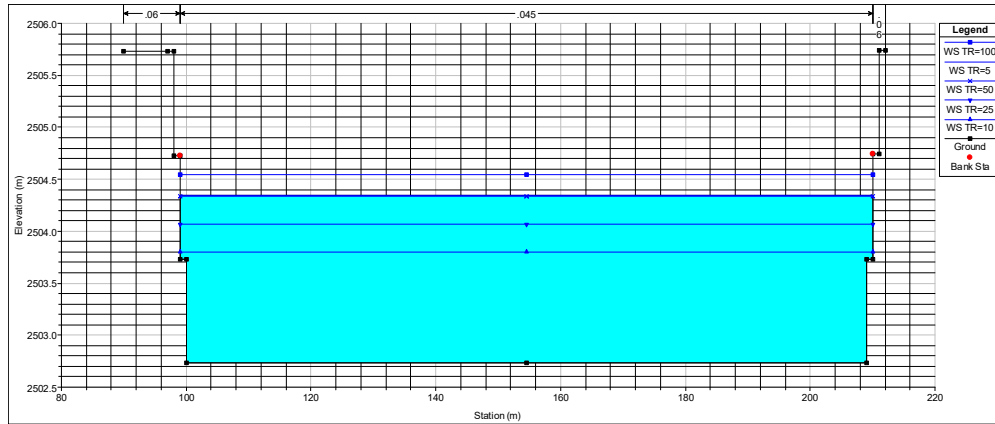


Progresiva 125 Cota de Fondo 2501,45

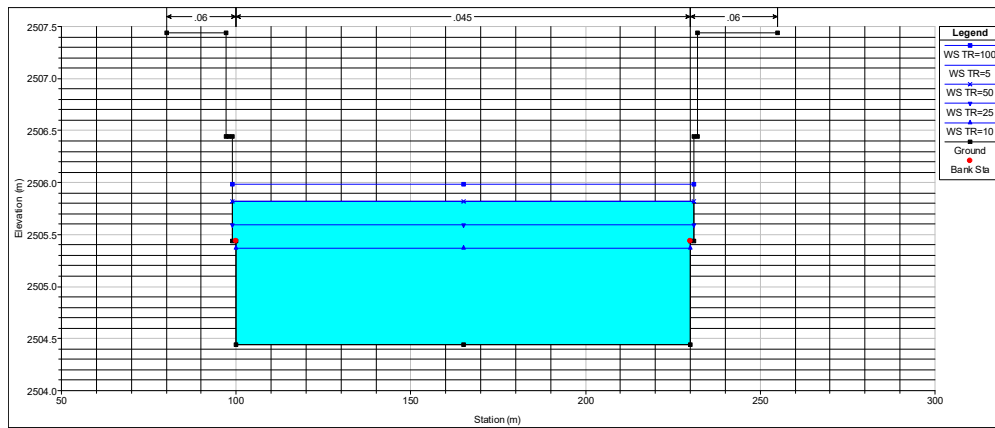




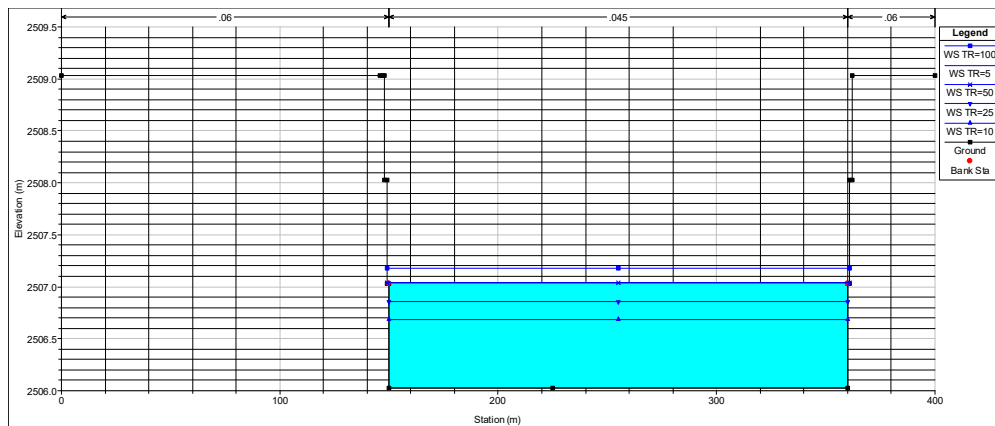
Progresiva 240 Cota de Fondo 2502,73



Progresiva 400 Cota de Fondo 2504,44

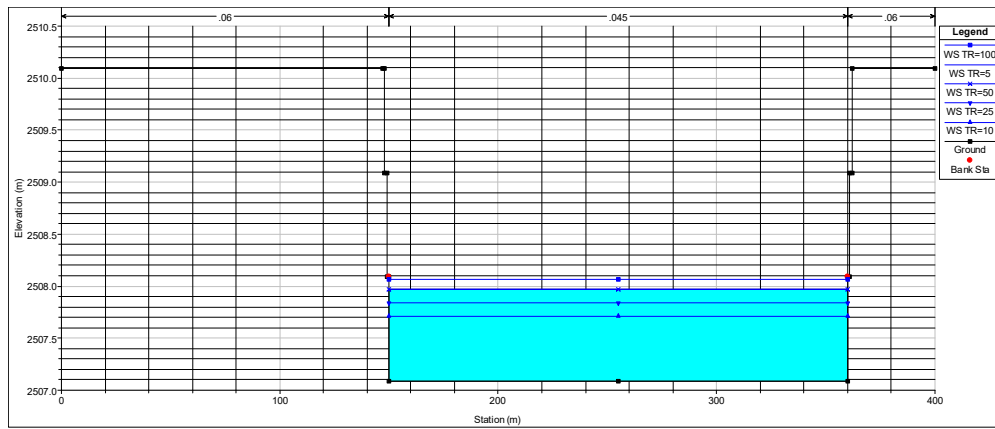


Progresiva 550 Cota de Fondo 2506,03

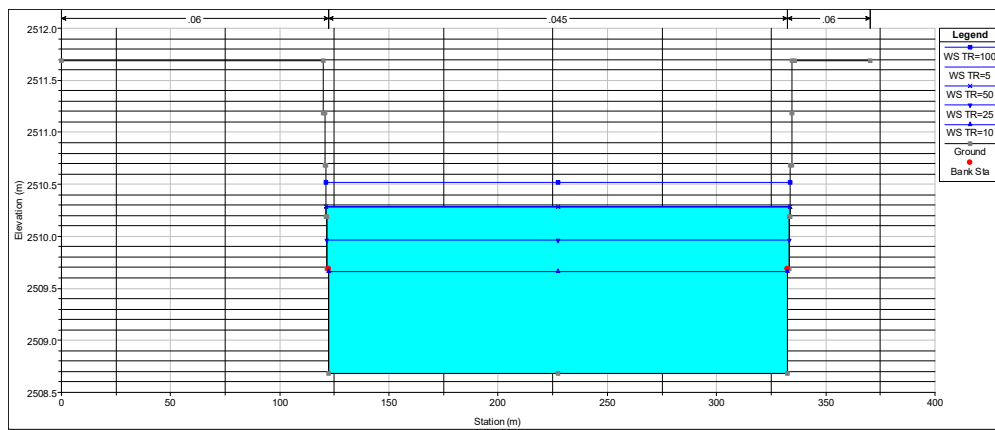




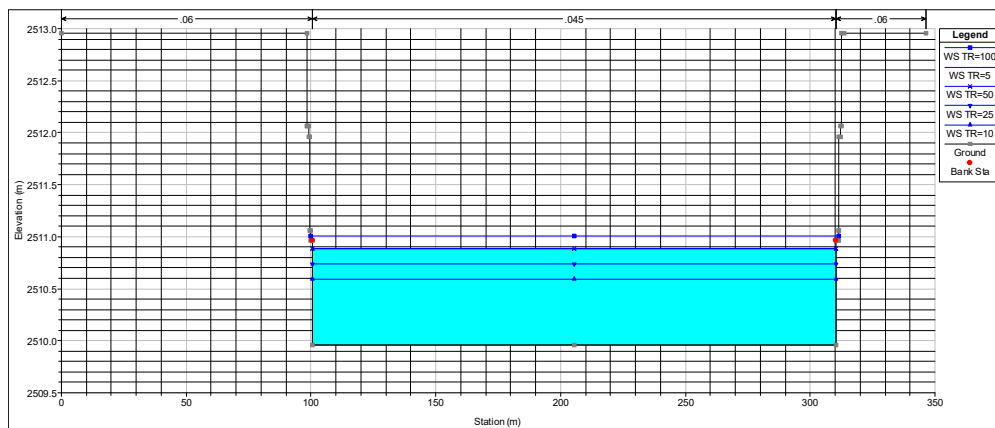
Progresiva 650 Cota de Fondo 2507,09



Progresiva 799 Cota de Fondo 2508,69

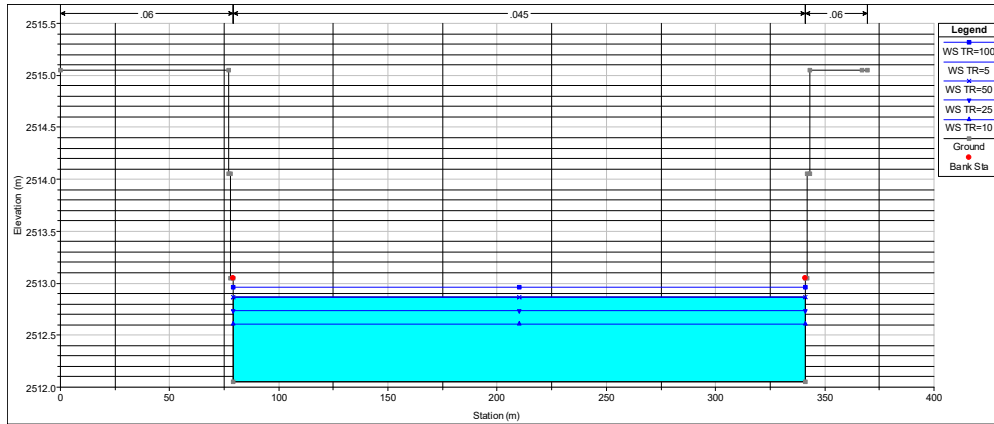


Progresiva 919 Cota de Fondo 2509,86

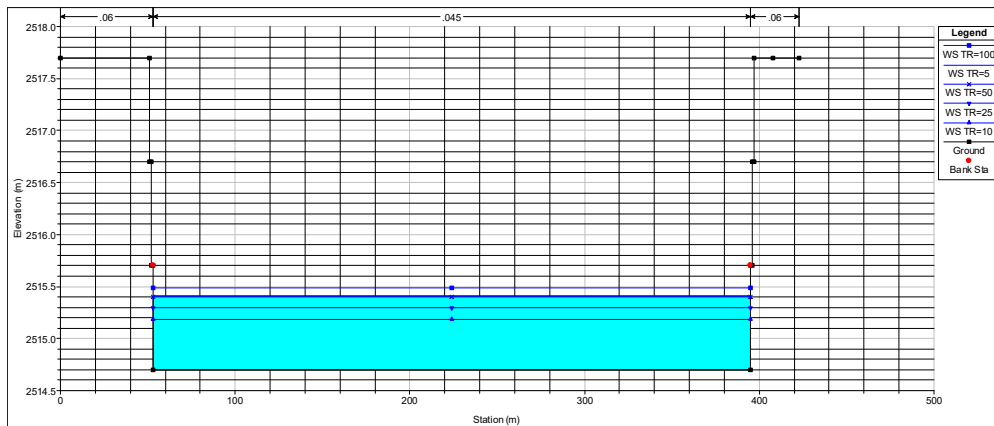




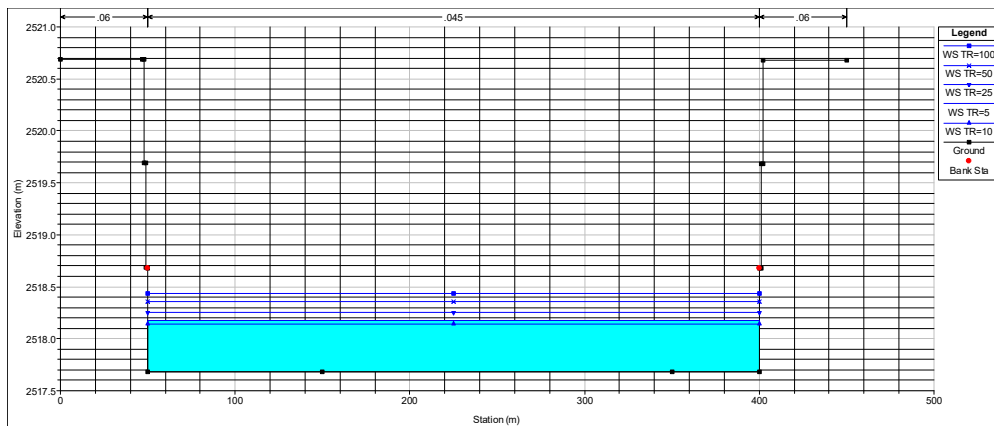
Progresiva 1115 Cota de Fondo 2512,05

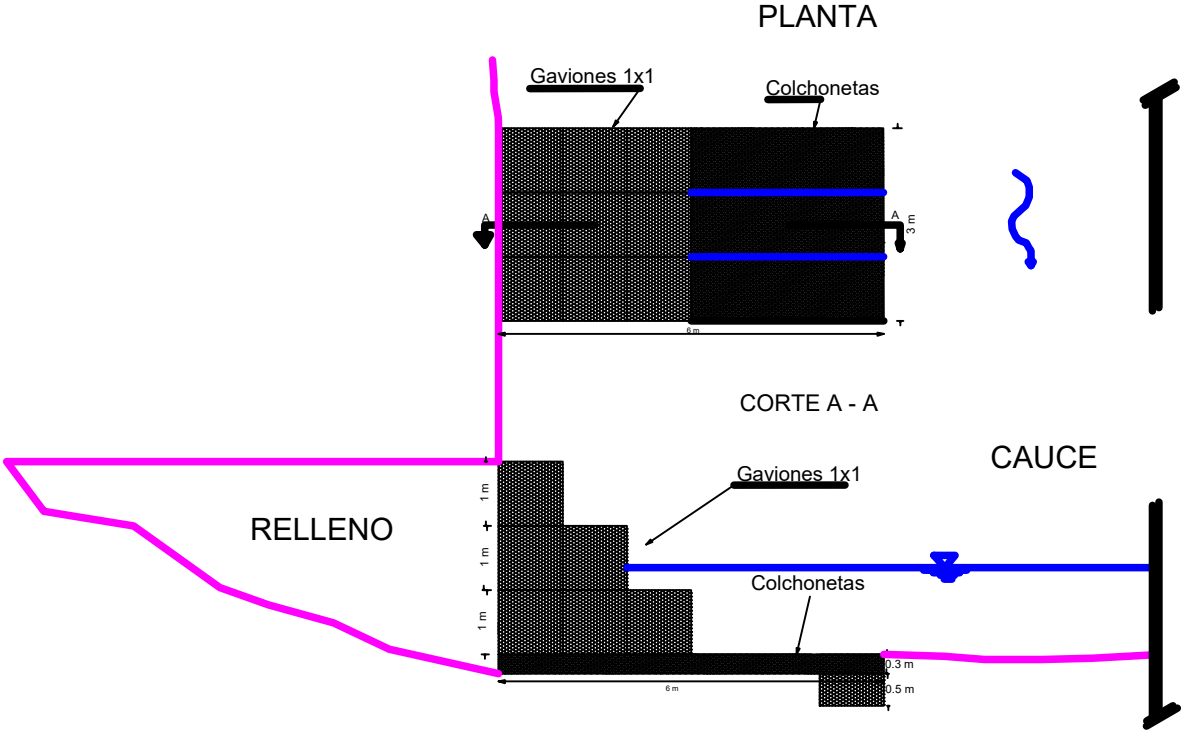


Progresiva 1366 Cota de Fondo 2514,70



Progresiva 1645 Cota de Fondo 2517,68





GAVIONES (H=3 m) [m³]			
Margen	Cantidad	Longitud [m]	
derecha	6.5	1716	11154
Izquierda	6.5	1543	10029.5
Subtotal			21183.5
COLCHONETAS (H=0.3 m) [m²]			
derecha	6	1630	9780
Izquierda	6	1440	8640
Subtotal			18420
GEOTEXTIL [m²]			
derecha	11	1716	18876
Izquierda	11	1543	16973
Subtotal			35849

Movimiento de Suelos Excavacion y Relleno			
Margen	Area [m²]	Altura [m]	Volumen [m³]
Izquierda	137590	1.5	206385
Derecha	157890	2	315780
Total			522165

	SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA - MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS TIERRA Y VIVIENDA			
	OBRA: ESTUDIOS HIDROLOGICOS, HIDRAULICOS Y FLUVIOMORFOLOGICOS PARA PUENTES S/ RIO GRANDE			
	UBICACION: TILCARA - DPTO. TILCARA PCIA. DE JUJUY			
	PLANO: DEFENSAS CIUDAD DE TILCARA			
EXPEDIENTE:		FECHA	OBSERVACIONES	ESCALAS
LEVANTO:				
PROYECTO:				
CALCULO:				
DIBUJO:				
Vº Bº JEFE DIV.				LAM N°
Vº Bº JEFE DTO.			SUSTITUYE LAMINA N°	3
V B DIRECTOR			SUSTITUIDO POR LAM. N°	



Estudios Hidrológicos, Hidráulicos y Fluvio morfológicos para Nuevo Puente sobre Río Grande.

Tilcara – Dpto. Tilcara

PROVINCIA DE JUJUY

INDICE

1.- INTRODUCCION	1
2.- RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES.	4
2.1.- Organismos consultados e informes con datos relevantes	5
3. -ESTUDIOS BÁSICOS	6
3.a.- Hidrología de Superficie	7
3.a.1.- Determinación de cuencas de aporte	8
3.a.2.- Estudios Pluviométricos	10
3.a.3.- Elaboración de Curvas IDF	12
3.a.4.- Definición de los hietogramas de Diseño	13
3.b.- Calculo de Abstracciones	16
3.c.- Determinación de Caudales de Diseño	25
4.- ANALISIS FLUVIOMORFOLOGICO	29
4.1.- Percepción Remota	30
4.2.- Análisis de Movilidad Fluvial	34
5.- ESTUDIO HIDRÁULICOS SOBRE EL RIO GRANDE	35
5.a.- Relevamiento Topobatimetricos	35
5.2.- . Análisis Hidráulico del Río y Puentes	37
5.2.a.- Escenarios de Modelación	40
5.2.b.- Resultados de la Modelación para el Río Grande	43
5.3.- Modelación de erosiones	48
6.- OBRAS PROPUESTAS	52
6.1.- Obras de protección de márgenes	52
6.2.- Computo Métrico	56
7. Bibliografía	57
ANEXO Perfiles	59
Planos	72



Estudios Hidrológicos, Hidráulicos y Fluvio morfológicos para Nuevo Puente sobre Río Grande.

Tilcara – Dpto. Tilcara

PROVINCIA DE JUJUY

1.- INTRODUCCION

La localidad de Tilcara, se encuentra en el Departamento homónimo de la provincia de Jujuy, y cuenta con una población de unos 6.300 habitantes, según el censo 2010. Sin embargo, esta ciudad se localiza en el corazón de la Quebrada de Humahuaca, que fuera declarada Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad en julio de 2003 por la Unesco, lo cual implica que durante buena parte del año su población llega a duplicarse y hasta triplicarse por la afluencia turística, proveniente de todo el país, y del exterior.

Esta situación le impone una dinámica poblacional y urbana compleja, ya que la infraestructura de la ciudad, durante ciertos periodos del año, puede ser suficiente para brindar seguridad y los servicios requeridos por la población estable, pero ante la afluencia de turistas que frecuentemente visitan la ciudad, particularmente durante algunos días asociados a eventos religiosos o culturales, esta condición se modifica sensiblemente, dejando a los habitantes (estables y temporales) vulnerables ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, que especialmente se producen durante las temporadas de verano y parte del otoño, que es cuando se presentan las mayores precipitaciones en la región.

En primera instancia, cabe destacar que la localidad de Tilcara se encuentra radicada sobre el abanico aluvial conformado por el Río Huasamayo en sus episodios históricos. Por otra parte, se observa también que la trama urbana avanza sobre áreas altamente vulnerables desde el punto de vista hidrológico e



hidrogeológico, por encontrarse prácticamente al pie de quebradas de fuertes pendientes.

La figura 1, muestra el grado de vulnerabilidad de la ciudad, en virtud de su ubicación respecto de los sistemas hidrográficos que drenan sus aguas hacia el Río Grande.

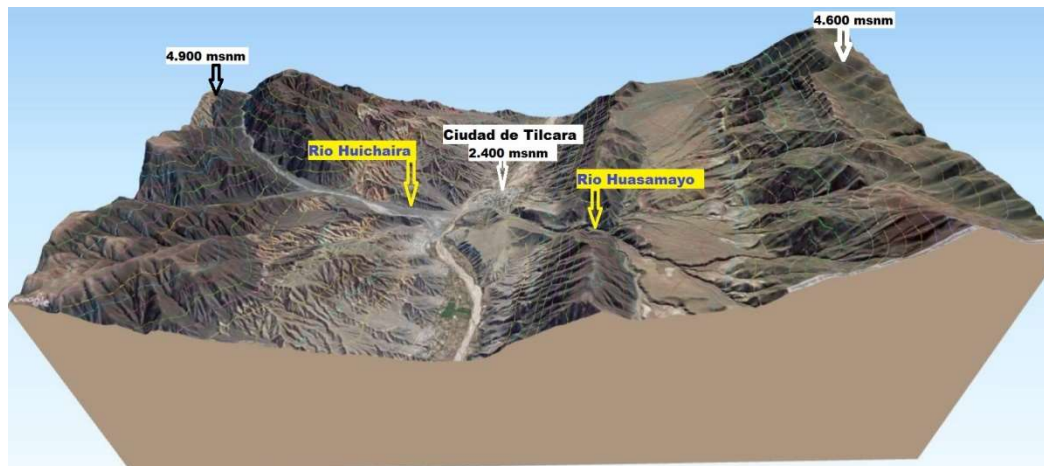


Figura 1.- Esquema en planta de la localidad de Tilcara

En efecto, tanto los procesos fluviomorfológicos que tienen lugar sobre el Río Grande, en las proximidades de la localidad, como así también los eventos hidrológicos extremos que pudieran ocurrir en su cuenca de aporte, pueden provocar severos inconvenientes, tanto a las personas como a sus bienes, si estos no son controlados y/o gestionados.

Como se observa en la figura 1, la ciudad de Tilcara se encuentra emplazada sobre la margen izquierda del Río Grande, siendo su única vía de vinculación con la provincia la RN N° 9 (Fig. 2), a la que se accede a través de un puente de dos vías (carriles) que sirven como único acceso y salida a la ciudad. Esta condición la impone fuertes restricciones a la trama urbana, particularmente durante la temporada alta de turismo. En efecto, en estas situaciones la existencia de una única vía de comunicación, se transforma en un verdadero condicionante al desarrollo urbano, e inclusive a la seguridad de las personas que habitan en forma permanente o transitoria en la ciudad.



Cabe destacar que en el mes de febrero del año 2016, se produjo una inundación en la ciudad, debido a los desbordes del Rio Grande, provocados por las excesivas precipitaciones ocurridas en las cuencas de aporte. Los escurrimientos generados en la trama urbana, generaron un anárquico movimiento en la ciudad, dado que los drenajes naturales confluyen en zonas próximas al único puente existente, generando entonces severos inconvenientes en la evacuación de las personas afectadas.

Por tal motivo la construcción de un nuevo puente sobre el Rio Grande, en las proximidades de la localidad de Tilcara, resulta desde el punto de vista urbanístico, una necesidad que permitirá mejorar el desarrollo urbano de la ciudad a la vez de ofrecer una mayor seguridad para su evacuación en casos de emergencias, que como ya se indico se encuentra localizada en una zona vulnerable, no solo a eventos hidrológicos extremos, sino también de origen sísmico.

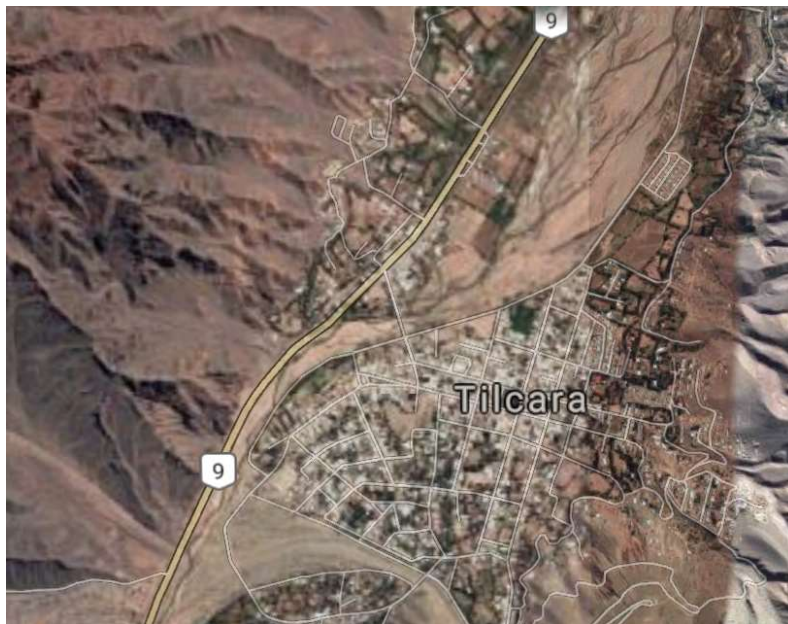


Figura 2

Asimismo y a los efectos de dotar de una mayor estabilidad el curso fluvial y sus márgenes, sobre el ejido urbano de la ciudad, será necesario también evaluar la conveniencia de instalar obras de protecciones y/o encauzamientos que limiten



claramente la línea de rivera, por una parte y además proteger el ejido urbano ante la presencia de altos niveles del Rio Grande, producidos por eventos extremos en la cuenca de aporte.

2.- RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES.

El objetivo de esta tarea fue la identificación de fuentes de información en la Cuenca del Rio Grande, como así también de los aspectos relativos a la ciudad de Tilcara. La actividad de recopilación de antecedentes relevantes relacionados con la temática del estudio, consistió en el relevamiento y análisis de datos existentes en los distintos organismos públicos y privados que forman parte de la cuenca incluyendo universidades, centros de Investigación, ONGs, empresas provinciales o agencias gubernamentales. Básicamente se recopiló información necesaria para efectuar la caracterización y evaluación de los aspectos centrales del medio físico y meteorológico de la región de estudio.

La información recopilada y analizada comprende:

- Características físicas de la cuenca (climatología, geología, geomorfología, geohidrología, hidrología, etc.)
- Compilación cartográfica, cartas topográficas del IGN, imágenes satelitales, fotografías aéreas y registros catastrales, mapas formatos shx, etc.
- Proyectos de aprovechamientos planteados en la cuenca o área de estudio
- Infraestructura y equipamiento urbano y de servicios públicos

La información recopilada fue analizada y revisada con el objetivo de determinar el grado de confiabilidad y utilidad a los fines del presente proyecto y se elaboró un inventario o Biblioteca que caracteriza la información incluida, conformándose la Base de Datos. Esta se organizó y sistematizó, respondiendo a la necesidad de disponer de un archivo actualizado de la información disponible, para unificar los criterios de gestión de la información que sirvió de sustento al desarrollo del Proyecto.



2.1.- Organismos consultados e informes con datos relevantes

Se realizaron consultas a organismos con jurisdicción Nacional, Provincial e Interprovincial, a efectos de recopilar la información hidrológica e hidrometeorológica disponible y otra información de interés temático para el proyecto. Asimismo se consultaron bases de datos globales, como la base de datos proporcionada por la FAO (2006) y RETSreen.

Los organismos consultados se listan a continuación:

- Organismos Nacionales
 - ✓ SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación)
 - ✓ SMN (Servicio Meteorológico Nacional)
 - ✓ INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)
 - ✓ INA (Instituto Nacional del Agua, ex INCYTH)
- Organismos Provinciales
 - ✓ Dirección Provincial de Recursos Hídricos (Provincia de Jujuy)
 - ✓ Dirección Provincial de Vialidad (Provincia de Jujuy)
- Organismos Interprovinciales
 - ✓ COREBE (Comisión Regional del Río Bermejo)
- Proyectos con bases de datos relevantes:
 - ✓ Las precipitaciones en el Noroeste Argentino; Bianchi y Yañez, INTA, 1992.
 - ✓ Estudio Regional de Riesgos Hidrogeológicos en el Noroeste Argentino. Ministerio de Infraestructura y Vivienda de la Nación, Unidad Coordinadora de Programas con Financiamiento Externo. BETA Studio SRL, 2002.
 - ✓ Atlas Climático Digital de la República Argentina. Bianchi y Cravero, INTA – Centro Regional Salta - Jujuy. Estación Experimental Agropecuaria Salta. Programa Nacional Ecorregiones. Proyectos INTA PNECO 1301. 2010. Información disponible en formato digital.
 - ✓ Imágenes de satélites de diferentes fechas y formatos (SPOT, LANDSAT, etc)



Cabe destacar que mucha de esta información, ya fue recopilada y se encuentra compilada en el Plan de Aprovechamientos Múltiples de la Alta Cuenca del Rio Bermejo, que fuera presentado en Diciembre del año 2013. Un aspecto relevante de este trabajo, es que la información de la zona correspondiente al presente estudio, se halla localizada en la denominada Región III de la alta cuenca del Rio Bermejo, y ya se encuentra sistematizada mediante capas (shapes) que pueden ser operados con Sistemas de Información Geográficos de libre disponibilidad.

Básicamente la información mas relevante desde el punto de vista físico, es la definiciones de cuencas y subcuencas, red de drenajes, pendientes, etc, que permiten definir los parámetros morfométricos de las mismas.

En lo que respecta a información hidrometeorologica, desafortunadamente la región no cuenta con una densa red de estaciones meteorológicas, solo fue posible obtener registros pluviométricos de dos estaciones, con datos de lluvias diarias, de la cuales una se encuentra en el interior de la cuenca que se estudia y otra muy próxima a ella.

Asimismo se analizaron mapas de usos de suelo, de pendiente, cobertura vegetal, todos ellos necesario para la estimación de los caudales máximos. Toda la información fue recopilada en una única base de datos para ser usada en las diferentes etapas del presente estudio.

3. ESTUDIOS BÁSICOS

La finalidad del estudio hidrológico del presente documento, es la determinación de los caudales de diseño, asociados a períodos de retorno de $T_R = 5, 10, 25, 50, 100$ años, tal como lo establecen los TDR.

Cabe destacar que para la obtención de estos parámetros de diseño, es posible recurrir a diferentes metodologías, de entre las cuales las mas usuales son la estimación de caudales máximos en base al análisis estadístico/probabilístico, de una serie de datos medidos (en este caso caudales) o bien mediante el empleo de modelos de transformación de lluvia en caudal.

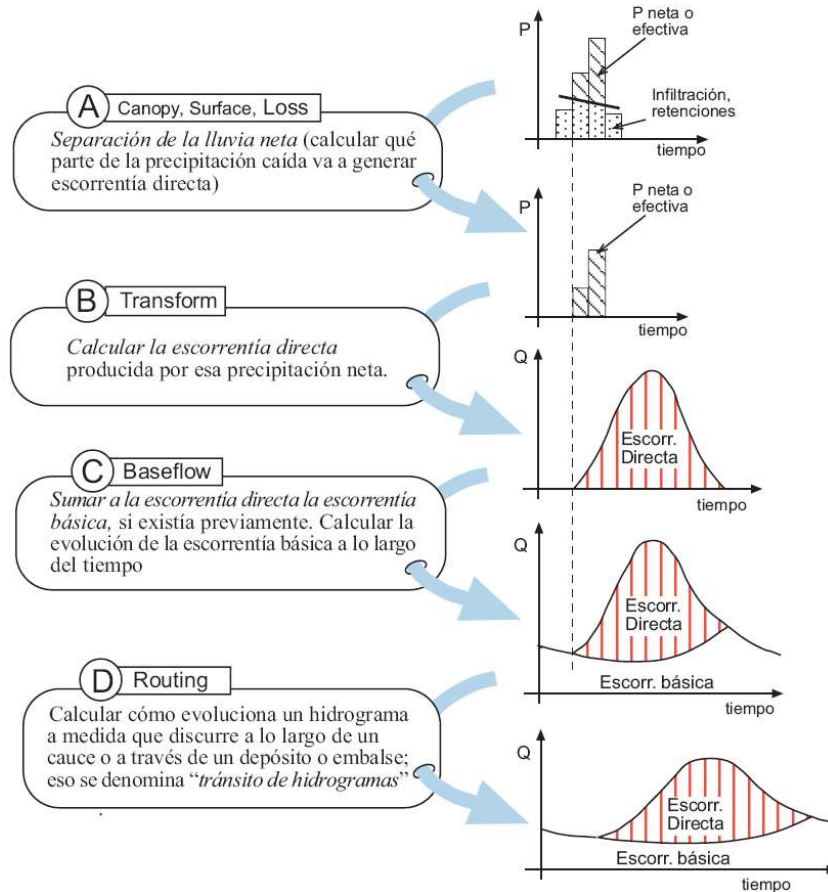


La aplicación de una u otra metodología dependerá de la información disponible, considerando no solo su cantidad sino también su calidad. En este caso particular, no existe en la cuenca, hasta el sitio de emplazamiento de las obras a proyectar, estación alguna que registre datos de caudales o niveles en forma sistemática. En consecuencia los estudios a desarrollar de aquí en adelante, estarán direccionados a la aplicación de modelos de simulación hidrológica, del tipo lluvia - caudal.

3.a.- Hidrología de Superficie

El modelo Hidrológico empleado es el HEC-HMS (Hydraulic Engineers Corp - Hydrological Modeling System), para la obtención de los Caudales de Diseño, permite obtener el hidrograma de respuesta de una cuenca, ante eventos de precipitaciones, a partir de datos físicos de la misma, precipitaciones, tiempo de concentración, factor de escorrentía, etc.

Las diversas fase de trabajo del programa pueden esquematizarse del siguiente modo (Sánchez, F. J. (2011).- *Manual Elemental de HMS*. En: <http://hidrologia.usal.es>)



Toda esta metodología es aplicada dentro de un ámbito físico que es la cuenca de aporte hasta el punto de interés. En consecuencia la primera etapa del trabajo consistió en la definición de la cuenca hidrográfica.

3.a.1.- Determinación de cuencas de aporte

Como fuente de información cartográfica se han empleado las curvas de nivel elaborados en el Plan de Aprovechamientos Múltiples de la Alta Cuenca del Río Bermejo, basándose en los datos de elevación del terreno en formato SRTM **Shuttle Radar Topography Misión**. Los datos de SRTM son datos de libre difusión elaborados por la NASA *National Aeronautics and Space Administration* y NGA *National Geospatial-Intelligence Agency* de los EEUU a través de la misión espacial STS-99 de febrero del 2000, realizada por el Transbordador Espacial Endeavour durante 11 días, con la finalidad de obtener una base completa de



datos de elevación topográfica estereoscópica de la zona del globo terrestre comprendida entre las latitudes 56°S a 60°N.

Sobre la cartografía SRTM del modelo SRTM-Ar se ha identificado la cuenca hidrográfica, y sus principales líneas de drenaje, cauces y sub cuencas. El procedimiento seguido ha consistido en la determinación de vaguadas y puntos bajos sobre la cartografía, empleando para ello un Sistema de Información Geográfico en combinación extensiones hidrológicas del software.

Habida cuenta de las dimensiones de la cuenca, se considero necesario dividirla en sub cuencas para su tratamiento como un modelo cuasi-distribuido, desagregándola en dieciocho (18) sub cuencas cuyas superficie no superen los trescientos kilómetros cuadrados (300 km^2). La figura 3, muestra la configuración del mapa de cuencas y red de drenaje hasta la localidad de Tilcara.

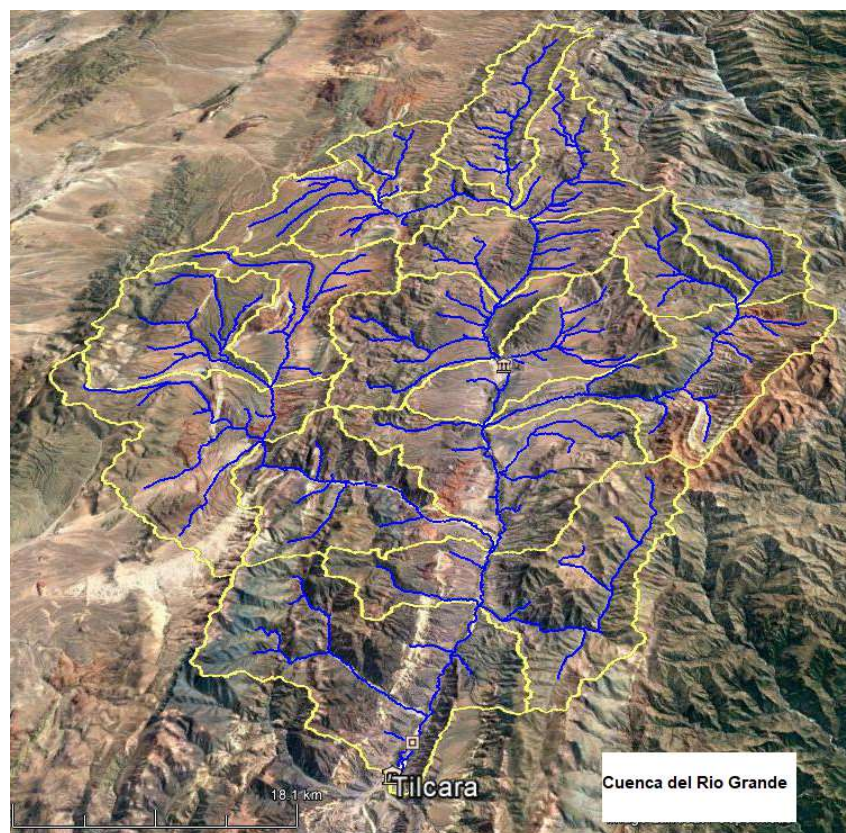


Figura 3.- Mapa de cuencas del Rio Grande hasta localidad de Tilcara



Por su parte la tabla 1, muestra las características morfométricas de cada una de las sub cuencas definidas en la figura 3

CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LAS SUBCUENCAS Y RED DE DRENAJE							
NÚMERO DE SUBCUENCA	A _c	P _c	Cota Min	Cota Max	L _c	ΔZ	Pendiente Sc
	Km ²	Km	msnm	msnm	Km	m	m/m
1	310.45	142.30	3361.71	4980.32	49.3	1618.61	0.0242
2	259.51	131.00	3319.09	4922.18	40.3	1603.09	0.0398
3	135.53	73.70	3606.23	4303.80	22.3	697.57	0.0313
4	138.87	84.90	3587.44	4265.19	30.5	677.75	0.0222
5	167.90	102.70	3361.71	4256.01	32.7	894.3	0.0273
6	237.25	108.80	3087.32	4699.61	27.1	1612.29	0.0595
7	255.02	113.10	2969.00	4460.51	25.4	1491.51	0.0587
8	231.81	106.00	2868.69	4774.39	32.9	1905.7	0.0579
9	143.35	80.20	3585.06	4941.45	25.8	1356.39	0.0526
10	124.61	70.60	3584.96	4940.52	25.7	1355.56	0.0527
11	301.49	137.40	2866.92	5114.18	46.1	2247.26	0.0487
12	254.04	113.80	2696.83	4777.05	35.0	2080.22	0.0594
13	239.68	141.70	3440.82	5079.94	33.3	1639.12	0.0492
14	225.99	105.40	3440.85	4558.80	42.1	1117.95	0.0266
15	286.79	143.80	3343.04	5129.93	29.2	1786.89	0.0612
16	203.37	100.10	2696.83	5056.29	32.6	2359.46	0.0724
17	266.46	137.50	2633.37	4836.31	34.6	2202.94	0.0637
18	252.34	110.70	2464.31	5148.17	31.7	2683.86	0.0847

Tabla 1.

3.a.2.- Estudios Pluviométricos

Desafortunadamente en la zona, no existe ninguna estación (operativa o no) que cuente con registros pluviograficos, que permita evaluar la distribución temporal de las lluvias, necesarias para la estimación de caudales de diseño. Por lo tanto, fue necesario aplicar alguna técnica que permita estimar la distribución temporal de las lluvias, en base a los valores de laminas totales en 24 hs.

Como se menciona en el apartado 2, los antecedente mas valiosos desde el punto de vista pluviométrico, son dos estaciones totalizadoras con pluviometría diaria, de las cuales una se encuentra en el interior de la cuenca (Posta de Aparzo) y la otra aguas abajo del cierre a unos pocos kilómetros (Volcan). La primera de ellas cuenta con una serie de lluvias diarias medidas desde el año 1971 hasta el 2013 incluido. Por su parte la estación de Volcán posee registros desde el año 1984 al 2017.



En consecuencia y en virtud de la información disponible y de la metodología a emplear para la determinación de los caudales de diseño (modelos lluvia-caudal), es necesario elaborar las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF). Claro está, que en este caso solo se dispone de datos pluviómetros en 24 hs., por lo que resulta necesario instancia llevar a cabo la desagregación temporal de las lluvias diarias.

Para la aplicación del método de desagregación, en primer instancia se procedió a estimar los valores máximos en 24 hs, para los periodos de retorno requeridos en los TDR. Para ello se empleo la herramienta HydroFreq 1.0, el cual permite estimar las probabilidades de ocurrencia del evento, para diferentes periodos de retorno, analizando leyes de distribución de probabilidades del tipo GEV, LP3, LN3 y P3, determinándose, en este caso que, el mejor ajuste corresponde al LN3, según se muestra en la figura 4.

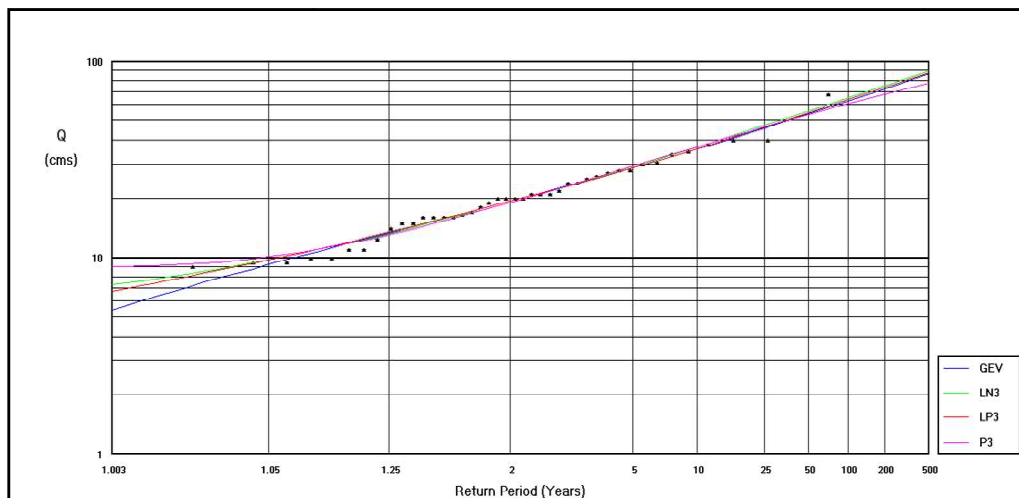


Figura 4.- Distribución de probabilidades lluvias máximas diarias. Est. Posta de Aparzo

La tabla 2, muestra los valores máximos para los diferentes periodos de retorno obtenidos mediante el ajuste de la ley LN 3



Lluvias maximas 24 hs	
RP	LN3
2	19.15
5	28.98
10	36.53
20	44.49
25	47.16
50	55.84
100	65.14

Tabla 2.- Valores lluvias máximas 24hs según ajuste LN3

3.a.3.- Elaboración de Curvas IDF

Conocidos los valores máximos de las lluvias diarias para los diferentes periodos de retorno, se debe proceder a desagregar las lluvias diarias en base al método de Bell (1969).

EL citado método, determina la lámina de precipitación para una duración dada y un periodo de recurrencia, según la ecuación

$$P_t^T = (0.21 \log_e T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

Donde:

t: duración en minutos

T: Periodo de Retorno en años

P_t^T : Precipitación caída en t minutos con periodo de retorno T años

P_{60}^{10} : Precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno 10 años

Este último valor se lo obtiene mediante la ecuación propuesta por Yance Tueros:

$$I = a P_{24}^b$$

Con a y b estimados para la cuenca, en base a la relación PMD/P_{24hs} y $P_{max}/P_{max_{1hr}}$. Efectuada la desagregación temporal, para los diferentes periodos de retorno, se ajustaron las nubes de puntos a una ecuación tipo Sherman de 4 parámetros:



$$I = \frac{a.T_R^d}{(t_r + b)^c}$$

Aplicado el método de Bell se determinaron las curvas IDF para la estación Posta de Aparzo, según se muestra en la figura 5.

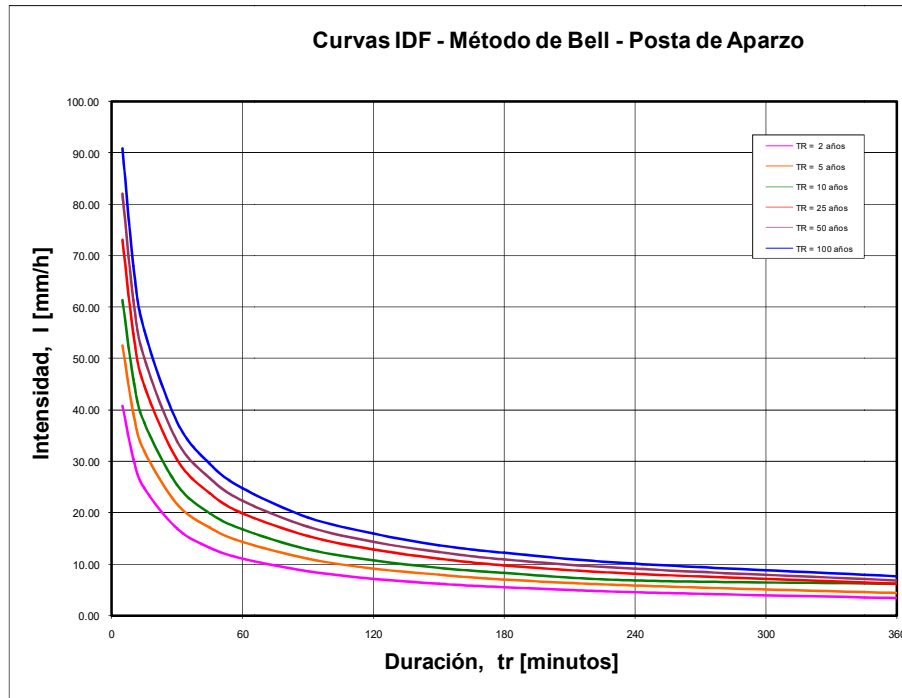


Figura 5.- Curvas IDF Estación Posta de Aparzo

3.a.4.- Definición de los hietogramas de Diseño

Para poder definir los hietogramas de diseño, es necesario en primera instancia determinar la duración de las tormentas, para cada uno de las sub cuencas que conforman la cuenca del Rio Grande. Teniendo en cuenta los conceptos de hidrogramas unitarios, se sabe que el tiempo de duración de la lluvia que genera la máxima escorrentía, es aquel cuyo valor es igual o mayor que el tiempo de concentración (t_c). Por lo tanto, lo que debe definirse es la metodología para la estimación del t_c .

Es sabido que existen una gran variedad de formulaciones para el cálculo de este parámetro, cada uno de los cuales se ajusta a un tipo de cuenca en particular.



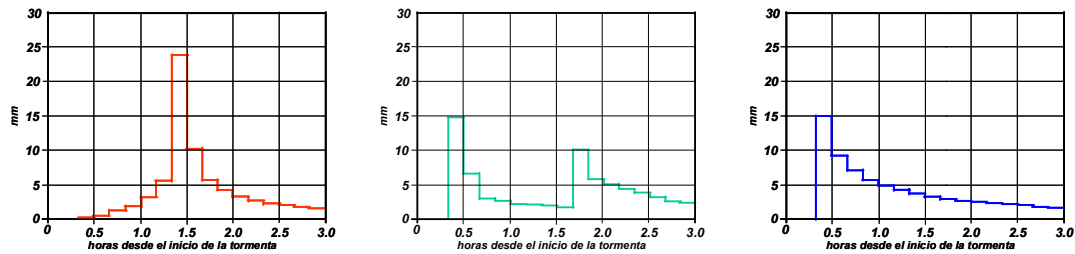
Teniendo en cuenta que no se conoce expresamente cuál de estas ecuaciones ajustaría a las cuencas de estudio, se considero apropiado efectuar el cálculo en base a diferentes ecuaciones y adoptar un valor medio como t_c . En tal sentido se seleccionaron las formulaciones de Williams, Kirpich, Johnstone-Cross y Haktanir-Sezen. La tabla 3, muestra los resultados obtenidos para cada una de las sub cuencas.

Estimacion de Tiempo de Concentracion					
NÚMERO DE SUBCUENCA	Williams	Kirpich	Johnstone-Cross	Haktanir-Sezen	tc
	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]
1	845.9	335.5	147.2	712.2	510.2
2	637.1	237.1	103.7	601.2	394.8
3	394.7	164.9	87.0	365.5	253.0
4	576.7	239.4	120.7	475.6	353.1
5	582.0	233.2	112.7	504.3	358.0
6	398.9	149.6	69.5	430.6	262.1
7	372.1	143.0	67.8	407.8	247.7
8	488.0	175.5	77.6	506.9	312.0
9	409.3	151.0	72.2	413.2	261.4
10	413.2	150.4	71.9	411.8	261.8
11	689.4	243.1	100.2	673.2	426.5
12	511.7	182.2	79.1	534.0	326.7
13	508.5	188.6	84.7	512.1	323.5
14	731.7	286.5	129.7	623.7	442.9
15	419.3	156.7	71.2	458.5	276.4
16	468.5	159.9	69.1	503.0	300.1
17	496.6	175.9	75.9	528.8	319.3
18	432.1	147.3	63.0	491.3	283.4

Tabla 3.- Tiempo de concentración de las sub cuencas

Por su parte, el hietograma es un gráfico de forma escalonada, que representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta, en el transcurso de la misma expresada en minutos u horas, permitiendo definir de la precipitación total, adquirió su máxima intensidad y cuál fue su valor.

Existen varias metodologías para la estimación de hietogramas a falta de la existencia de pluviógrafos, destacando el propuesto por Ven te Chow "*Alternating Block Method*" (1994) basado en el modelo Chicago de Keifer y Chu, reflejado en la figura izquierda siguiente:



El tipo de hietograma más utilizado es el de bloques alternos. Estos hietogramas se construyen a partir de las curvas I-D-F obtenidas para un determinado pluviómetro. La disposición temporal de los bloques de intensidad de lluvia se hace habitualmente colocando el bloque de máxima intensidad en la mitad de la tormenta. Posteriormente se van añadiendo alternativamente hacia uno y otro sentido en la escala de tiempos los siguientes máximos.

La figura 6, muestra un ejemplo del hietograma de diseño para la sub cuenca 1, para un periodo de retorno de 100 años. Cabe destacar que un hietograma de estas características se elabora para cada sub cuenca y para cada periodo de retorno considerado (5, 10, 25, 50 y 100 años)

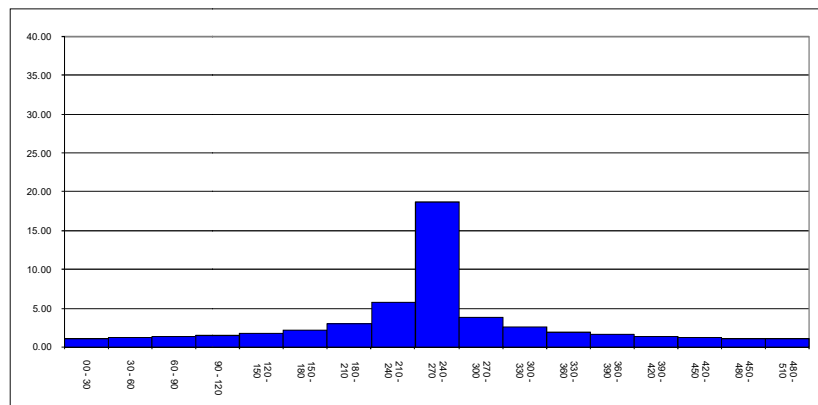


Figura 6.- Hietograma de diseño sub cuenca 1, $T_R = 100$



3.b.- Cálculo de Abstracciones

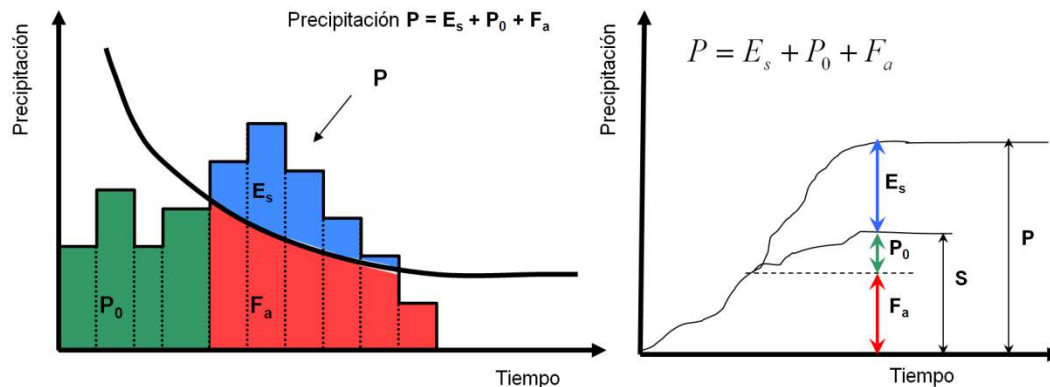
Método SCS

La formulación que sirve como fundamento para el cálculo del umbral de escorrentía, es la propuesta por el SCSUSDA (Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los EEUU) en 1972, que desarrolla un método para el cálculo de las abstracciones a la precipitación de una tormenta.

Dada una tormenta, la profundidad de Exceso de Precipitación o Precipitación Neta/Efectiva o Escorrentía Superficial E_s es siempre menor o igual que la Profundidad de Precipitación P

Así mismo, existe una cantidad inicial de precipitación P_0 (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no se producirá escorrentía, por lo que la escorrentía neta potencial es $P - P_0$

Del mismo modo, una vez iniciada la escorrentía, la profundidad del agua retenida en la cuenca F_a , es menor o igual a la retención potencial máxima de la cuenca S .



Número de curva - Definición del parámetro

La ecuación obtenida, permite obtener la escorrentía superficial E , producida por una lluvia P , en función de una única variable S

$$E_s = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S}$$



$$E_s = 0 \quad \text{si} \quad P < P_0$$

$$E_s = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \quad \text{si} \quad P \geq P_0$$

El factor **S** representa las máximas pérdidas posibles o potencial máximo de retención de agua del complejo suelo – vegetación. Su valor depende del tipo de suelo, de la humedad inicial antes de producirse las lluvias, de la vegetación y de los tratamientos culturales realizados sobre el suelo.

Por definición, el valor de **S** varía desde 0 (superficie suave e impermeable) hasta infinito (suelo de gran espesor formado por gravas).

La representación gráfica de **E_s** frente a **P**, en función del parámetro **S**, realizada con la ecuación anterior, y aplicada a cuencas experimentales del USDA SCS con diferentes complejos suelo – vegetación da lugar a la obtención de curvas como las mostradas en las imágenes siguientes:

Para limitar la variabilidad del parámetro **S** entre 0 y 100, se desarrolló el concepto del Número de Curva **NC**, que se obtiene al realizar el siguiente cambio de variable:

$$NC = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{ó} \quad S \text{ (mm)} = 254 \cdot \left(\frac{100}{NC} - 1 \right) \quad \text{ó} \quad P_0 \text{ (mm)} = \frac{5080}{NC} - 50.8$$

Los números de curva, alcanzan valores comprendidos entre 0 y 100. A mayor número se obtiene un umbral de escorrentía menor, lo que se traduce en un menor escurrimiento. Para NC = 100 correspondería a una cuenca completamente impermeable en la que toda la precipitación sobre la misma se transforma en escorrentía.



Procedimiento de Cálculo

Los Números de Curva del SCS reflejan la capacidad de la cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta así como definir el Coeficiente de Escorrentía de cada cuenca.

El valor del parámetro depende de los siguientes factores:

1. **Permeabilidad o Grupo Hidrológico de Suelo:** Tipología de suelo y su capacidad de infiltración
2. **Uso de Suelo o tipo de cubierta vegetal:** cultivos, praderas, bosques... así como los tratamientos efectuado en el mismo (labores de cultivo): líneas de máxima pendiente, cultivos a nivel, fajas, terrazas,...
3. **Pendiente del terreno** (en función de que ésta sea superior o inferior al 3%)

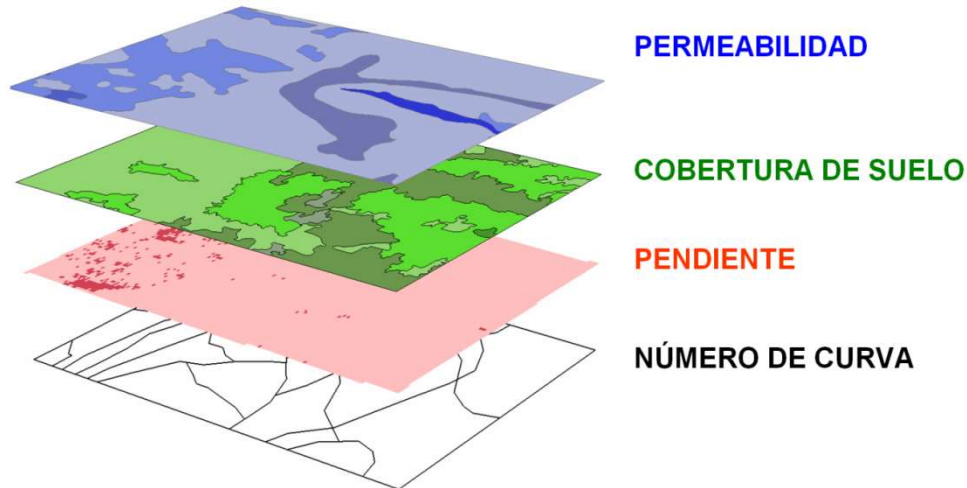
Dicho parámetro Número de Curva se obtiene a partir de los mapas de permeabilidad de suelos, cobertura vegetal y pendiente. Sobre estos, se planimetran los diversos usos y tipos de terreno, aplicándoles a cada uso y tipo el número de curva característica, obteniendo la media de la cuenca.

El empleo de SIG en la modelización permite atenuar los problemas existentes debidos a la variabilidad de las características físicas y geomorfológicos en una cuenca hidrográfica. Para la Generación del Umbral de Escorrentía, Herramientas SIG, para el desarrollo de la metodología “Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica”, realizada con la colaboración del CEDEX y Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (España).

La metodología permite la obtención, de una manera precisa y automatizada, del número de curva, parámetro hidrológico que utiliza el SCS de los EEUU para el cálculo de la escorrentía. Para ello se generan capas de cartografía temática correspondientes a cada una de las variables que influyen en la determinación del parámetro número de curva, que resulta finalmente determinado mediante la realización de operaciones de reclasificación y superposición de las siguientes capas de información:



- **Mapa de Pendientes.** Obtenido tomando como punto de partida el Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca hidrográfica, y reclasificado en dos categorías en función de que la pendiente del terreno sea igual o superior al 3%. A las celdas con pendiente inferior a tres se les asignará el número primo **1**, frente a las celdas de pendiente superior a tres a las que se asignará el número primo **2**
- **Permeabilidad del terreno o Grupo hidrológico de Suelo.** Se establecerá un reclasificación de celdas en los cuatro niveles de permeabilidad establecidos por el SCS: A (Rápida infiltración), B (Infiltración Moderada), C (Infiltración Lenta), D (Infiltración muy lenta). Asignando respectivamente los números primos **3,5,7 y 11**.
- **Cobertura de Suelo,** se identificarán las tipologías de usos de suelo que establece el SCS, a los que se asignarán los números primos comprendidos entre **13 y 237**.



Observaciones:

- **R:** Tratamientos de cultivo efectuados sin tener en cuenta la pendiente del terreno
- **N:** Tratamientos de cultivo efectuados por curvas de nivel



-
- Condiciones medias de humedad antecedente (II)
 - $P_0 = 0.2 \cdot S$
 - Grado de cobertura.

Pobre: si las plantas cubren menos del 50% de la superficie total.

Regular: aquéllos cuya cubierta vegetal alcanza entre un 50% y un 75% de la superficie del terreno.

Buena: los que su cubierta vegetal supera el 75% de la superficie del terreno.

Grupo de suelo

El método propuesto por el SCS USDA establece una clasificación del suelo en función de su mayor o menor capacidad de infiltración o permeabilidad, y por lo tanto de su potencial de generación de escorrentía.

Se establece una clasificación de los suelos en 4 diferentes tipologías:

Grupo A: Se trata de los suelos con mayor permeabilidad y menor escorrentía.

Se trata de suelos profundos y de texturas gruesas (arenoso o arenoso - limosos), muy permeables, incluso saturados, con un tanto por ciento elevado de arenas y gravas y cono poco o nada de arcillas y limos. Su potencial de escurrimiento es mínimo por su gran permeabilidad. Elevada capacidad de infiltración.

Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, terrenos de textura franco - arenosa de mediana profundidad y suelos francos profundos. Presentan una moderada permeabilidad cuando se encuentran saturados

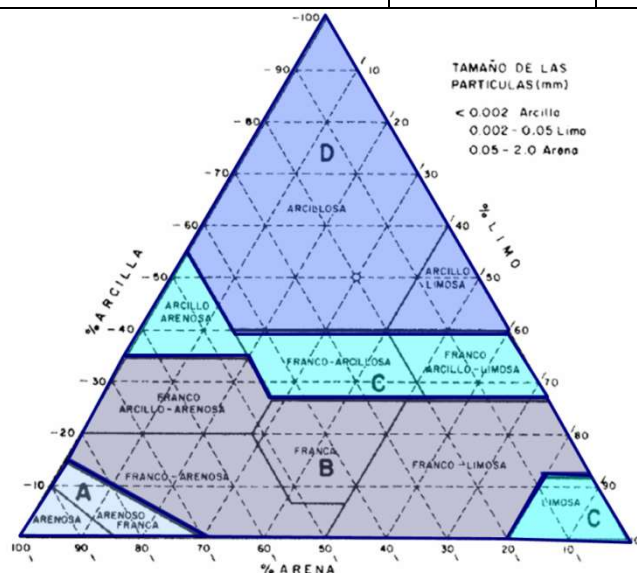
Grupo C: Comprende suelos con poca permeabilidad cuando ya están saturados, franco – arcillosos e incluso arcillosos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados, o que presentan algún



estrato impermeable que dificulta la infiltración de la lluvia. Los suelos de este grupo poseen un bajo contenido en materia orgánica.

Grupo D: Es el que ofrece mayor escorrentía. Se trata de suelos con gran impermeabilidad, arcillosos, profundos con alto grado de tumefacción; también se incluyen aquí los terrenos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca madre impermeable, ciertos suelos salinos y terrenos con el nivel freático muy alto.

CLASES TEXTURALES Y GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL USDA			
GRUPO A	Arenosa	GRUPO B	Franco – limosa
	Arenosa- franca		Franca
	Franco – arenosa		Limosa
GRUPO C	Franco – arcillo – arenosa	GRUPO D	Arcillo – arenosa
	Franco – arcillo - limosa		Arcillo – limosa
	Franco – arcillosa		Limosa





Como herramienta de apoyo adicional, también se ha considerado el orden edafológico del suelo, estableciendo las siguientes correspondencias con respecto a su relación con la permeabilidad, y por tanto el grupo Hidrológico de Suelo del USDA

ÓRDENES EDAFOLÓGICOS	GRUPO HIDROLÓGICO
Entisoles , suelos constituidos por aluviones. Forman parte del Grupo Hidrológico de Suelos A.	GRUPO A
Inceptisoles , suelos con débil desarrollo. Forman parte del grupo del Grupo Hidrológico de Suelos B.	GRUPO B
Alfisoles , suelos jóvenes pero con horizonte B, arcilloso enriquecido por elevación. Forman parte del Grupo Hidrológico de Suelos C.	GRUPO C
Ulisoles , suelos enriquecidos con arcilla. Forman parte del Grupo Hidrológico de Suelos C	GRUPO C
Vertisoles , constituidos por suelos secos, con sales y yesos. Forman parte del Grupo Hidrológico de Suelos D	GRUPO D
Aridisoles , constituidos por suelos secos, con sales y yesos. Forman parte del Grupo Hidrológico de Suelos D	GRUPO D

Para la estimación de la permeabilidad del suelo, o clasificación en grupos hidrológicos se ha empleado cartografía procedente del Plan de Aprovechamientos Múltiples de la Alta cuenca del Río Bermejo, empleado la capa de suelos y de pendientes

Uso De Suelo – Cobertura Vegetal

Para la estimación del Uso de Suelo o Cobertura vegetal, se ha tomado como referencia la publicación digital Atlas de Cobertura de Suelo de la República Argentina, elaborado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, de libre difusión a través de un acceso Web MapService WMS en la plataforma GEOINTA Sistema de Consulta de Mapas, Imágenes y Bases de Datos Georreferenciadas y los mapas temáticos elaborados por CORENE, en el Plan de



Aprovechamientos Múltiples de la Alta cuenca del Río Bermejo, en la República Argentina.

Otras fuentes de información utilizadas fueron las imágenes de los satélites Landsat y Terra; datos de campo y antecedentes cartográficos regionales y zonales.

Los resultados obtenidos han sido corroborados y particularizados al ámbito de las cuencas vertientes mediante y visitas de campo realizada a la zona.

Se indican a continuación las coberturas de suelo, según el sistema de clasificación LCCS-FAO que se encuentran presentes en el ámbito de la ruta.

CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE SUELO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA LCCS-FAO (LandCoverClassificationSystem)		
DESCRIPCIÓN LCCS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN SCS
Arbustal abierto	22200	Masa forestal clara
Bosques abiertos	21200	Masa forestal media
Bosques cerrados	21100	Masa forestal muy espesa
Cultivos de herbáceas graminoideas	13100	Cultivos Cereales N
Cultivos de herbáceas no graminoideas	13200	Cultivos en Hilera N
Pastizal abierto (herbáceas graminoideas)	23200	Pradera media
Pastizal cerrado (herbáceas graminoideas)	23100	Pradera buena
Pastizal disperso	23300	Pradera pobre
Rocas, fragmentos	51100	Rocas permeables
Áreas urbanas densamente pobladas	41100	Rocas impermeables

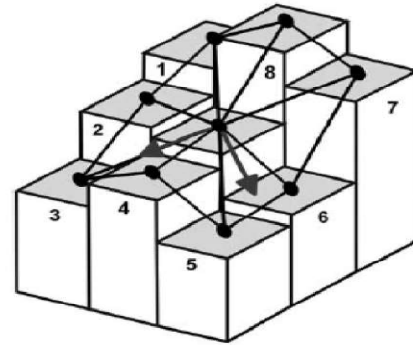


Pendiente

La estimación de la pendiente media en cada una de las cuencas, de cara a la estimación del parámetro Número de Curva NC, se ha obtenido a partir del Modelo Digital de Elevaciones empleada para la delimitación de las cuencas y estimación de sus parámetros físicos. (Plan de Aprovechamientos Múltiples Alta Cuenca del Río Bermejo, en la República Argentina)

Se ha considerado la pendiente como la relación máxima de cambio del valor de Z a través de cada píxel con respecto a sus píxeles colindantes.

Para la estimación de la pendiente cada píxel, los SIG emplean un kernel filtro o núcleo de análisis, que consta una matriz de 3 x 3 píxeles.



De éste modo, se tiene en cuenta para cada valor del raster de entrada (altitudes en nuestro caso), los 8 píxeles vecinos al píxel dado, en lo referente a la estimación de la pendiente del píxel y las direcciones de flujo. *Seibert y McGlynn* (2007)

En la siguiente figura se representa el resultado obtenido, discretizado en 2 categorías, de la que la primera de ellas corresponde a los píxeles cuya pendiente es inferior a 3%, lo que resulta determinante para la determinación del NC según la tabla especificada en el apartado “Cálculo del Número de Curva”

Números de Curva de las Subcuencas

Realizando el producto de los tres mapas anteriores:

(Permeabilidad Suelo) x (Cobertura del Suelo) x (Pendiente)

y en coherencia con la tabla de asignación de Números de Curva del SCS USDA que figura en el apartado “*Procedimiento de Cálculo*” del presente informe, se obtiene como resultado el mapa de Números de Curva del ámbito de estudio. La tabla 4 muestra los valores de CN usados para cada cuenca.



Numero de Curva SCS	
NÚMERO DE SUBCUENCA	NC
1	70
2	70
3	73
4	72
5	69
6	71
7	73
8	73
9	71
10	69
11	73
12	71
13	70
14	72
15	71
16	74
17	70
18	72

Tabla 4.-

3.c.- Determinación de Caudales de Diseño

Simulación con el modelo HEC-HMS

Los modelos hidrometeorológicos simulan el proceso precipitación escorrentía habitualmente mediante modelos deterministas con distintos grados de complejidad. El uso de métodos hidrometeorológicos de cálculo de avenidas es actualmente el procedimiento más empleado.

El modelo HEC-HMS está dentro del grupo de modelos hidrológicos agregados, con todas sus ventajas respecto a los modelos distribuidos (sencillez, rapidez, facilidad en la calibración de los parámetros a introducir...) e inconvenientes (la variabilidad espacial de la precipitación y de la infiltración se pierde en todos los modelos agregados al promediar en la cuenca o sub cuenca).

El modelo HEC-HMS: Hydrologic Engineering Center (HEC), Hydrologic Modeling System (HMS) es un modelo hidrológico de eventos desarrollado por el US Army Corp of Enginners de los Estados Unidos.



El HMS ha sido diseñado para simular el proceso de precipitación escorrentía de cuencas con drenaje dendrítico. El modelo ha sido concebido para ser aplicada a un gran rango de situaciones geográficas para resolver un gran número de problemas. Esto incluye desde disponibilidad de agua y problemas de inundaciones para grandes cuencas hasta el drenaje urbano de pequeñas cuencas.

El modelo HEC-HMS considera la dinámica hidrológica en los episodios tormentosos. Durante una crecida, la mayor parte del hidrograma está generado por la escorrentía superficial, por lo que al modelar, las crecidas se centran en analizar los fenómenos de producción y traslación de la escorrentía despreciando el resto. La producción de escorrentía depende básicamente de la precipitación (precipitación en cuenca introducida dentro del modelo) y de la infiltración en cada punto de la cuenca (Po o umbrales de escorrentía) que a su vez es función de la velocidad de infiltración y del déficit de humedad del suelo. La traslación hasta el punto de desagüe depende de la topografía, distinguiéndose un primer movimiento sobre las laderas y pequeños cauces de las subcuencas y un segundo a través de los cauces principales. Estos flujos de ladera y cauces son esencialmente distintos, al serlo el medio por el que se producen.

La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

Para el caso que nos ocupa y debido a las dimensiones de la cuenca de aporte de la cuenca del Rio Grande, hasta el cierre en Tilcara, se adopto un esquema de cuencas como el mostrado en la figura 7

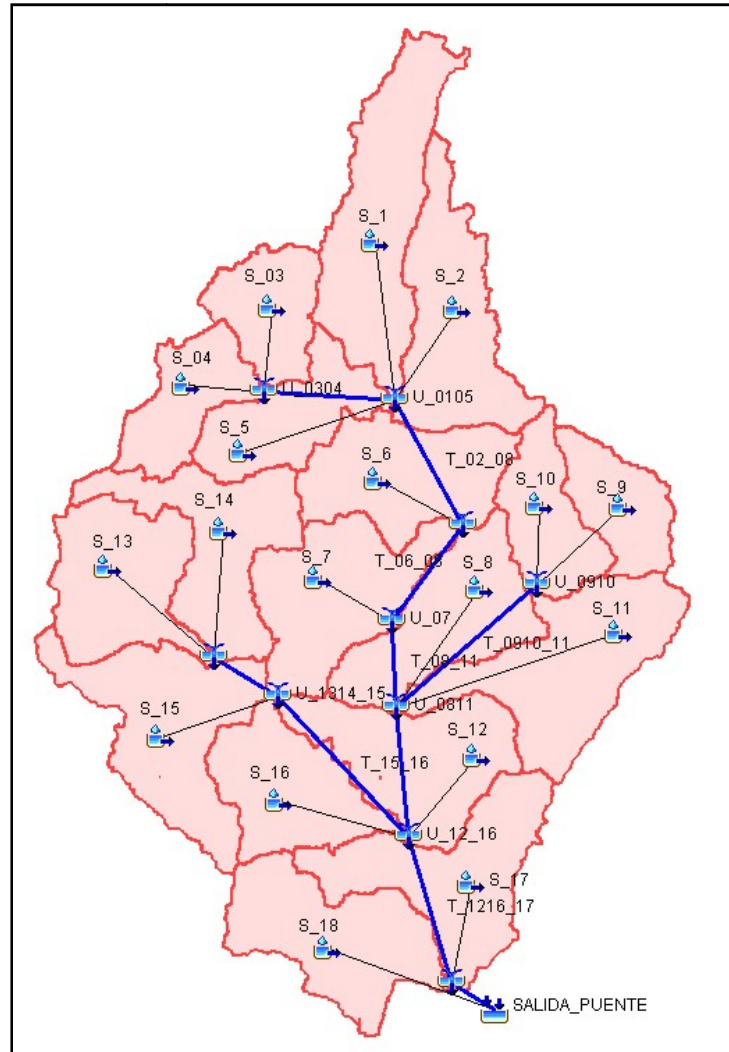


Figura 7.- Esquema de cuenca adoptada para la modelación de la Cuenca Rio Grande

Una vez terminada la definición del esquema básico de la cuenca, debemos pasar a asignar a cada uno de los elementos utilizados, los parámetros necesarios que permitan al programa aplicar cada uno de los modelos para llegar a unos resultados finales. Estos son, areas, CN, flujo base, hietogramas, etc.

La figura 8, muestra los datos requeridos por el modelo.

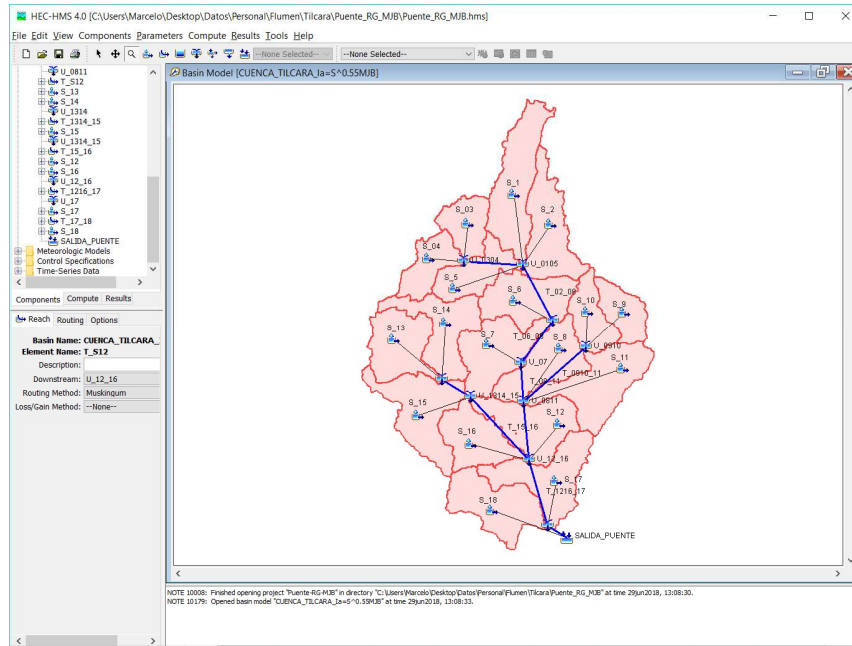


Figura 8.- Captura de pantalla modelación del Rio Grande

Cabe destacar, que tanto para la obtención de las abstracciones como el modelo de transformación de lluvia caudal, se adoptó el método propuesto por el SCS.

Resultados Obtenidos

Luego de ejecutadas las corridas del modelos para los diferentes periodos de retorno, requeridos en los TDR, se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 5

Cudales de Maximos	
TR	Q [m ³ /s]
5	199.0
10	223.0
25	315.0
50	419.0
100	501.0

Tabla 5.- Caudales de Máximos - Cuenca Rio Grande

Por su parte la figura 9, muestra el hidrograma de salida, para un periodo de retorno de 100 años, idénticos hidrogramas se obtienen para los otros T_R

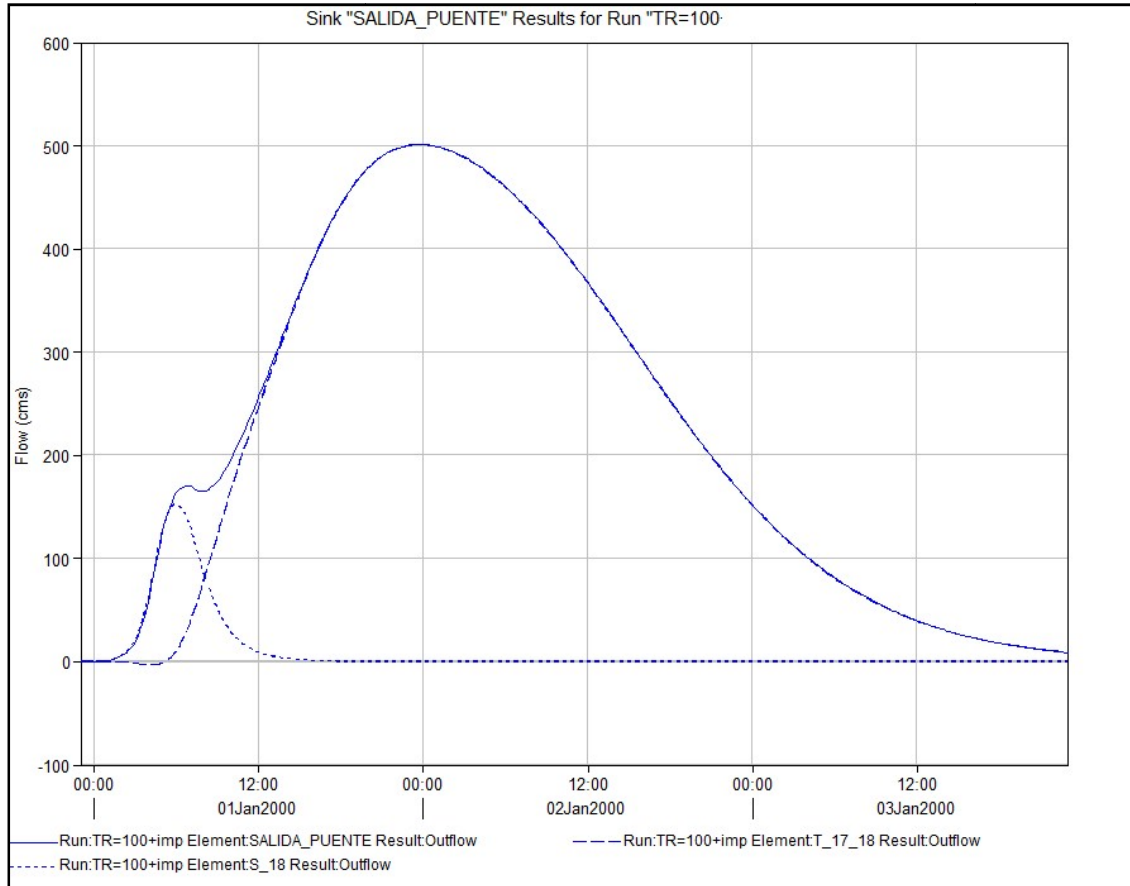


Figura 9.- Hidrograma de salida para un $T_R = 100$ años

4. ANALISIS FLUVIOMORFOLOGICO

En general los procesos erosión, transporte y sedimentación en ríos naturales, está determinado por la distribución de las velocidades de corriente y la turbulencia. El área de máxima velocidad y turbulencia, son los lugares adecuados para la erosión, mientras que las áreas con baja velocidad y turbulencia son las propicias para la estabilidad y la sedimentación.

Esta dinámica es la que finalmente marca la morfología de un curso natural, es decir dependiendo de cómo seas estas variables, serán los procesos dominantes en el río y en consecuencia modelaran sus formas.



En tal sentido la morfología fluvial, distingue tres grupos formas (Leopold y Wolman), de acuerdo a las características del trazado, los cuales se definen como:

- Corrientes rectas
- Corrientes meandriformes
- Corrientes anastomosadas o entrelazadas.

En realidad los cauces rectos son poco comunes en un medio natural, por el contrario los tipos mas frecuentes son el meandriforme, anastomozado o entrelazado. Tales calificaciones surgen según un parámetro denominado Índice de Sinuosidad (IS), que fuera definido por Leopold y Wolman, como el cociente entre la longitud de talweg y la longitud del valle. En virtud de este valor, los cauces pueden clasificarse como rectilíneo ($IS < 1.05$), meandriforme cuando $IS > 1.5$ y sinuoso cuando IS varia entre 1.05 y 1.5

La figura 10, muestra un esquema de cada una de estas calificaciones

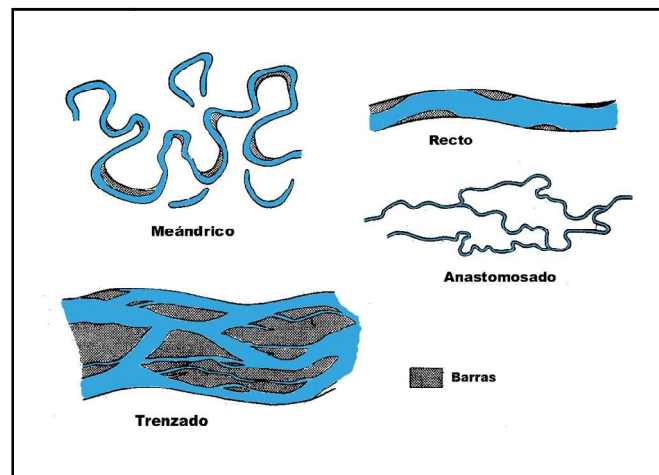


Figura 10.- Tipologías de cauces naturales

Está claro que para el caso del Río Grande, en el tramo analizado, podría ser calificado dentro de los que se denomina anastomosado o trenzado. En efecto, estos cauces se caracterizan por $IS < 1.5$, contar con muchos canales separados por barras y pequeñas islas. Básicamente se encuentran donde los sedimentos son abundantes, las descargas de agua son altas y esporádicas, y los ríos son



sobrecargados con sedimentos. Se forman barras durante los períodos de descarga alta que van desviando al río, condiciones estas que se observan claramente en el tramo de río aquí analizado.

A los efectos de poder definir estrictamente la tipología del cauce y evaluar su incidencia sobre la implantación de una obra de arte transversal, se efectúa un análisis del comportamiento del río, en su historia mas reciente.

4.1.- Percepción Remota

A los efectos de poder analizar el grado de movilidad del Rio Grande, en el tramo comprendido en el ejido municipal de la localidad de Tilcara, como así también, el segmento que pudiera tener alguna influencia sobre la obra de arte, se evaluaron imagen de alta resolución disponible de la citada area. En tal sentido se analizaron imágenes del año 2004, 2010, 2013, 2016 y 2017. Las figuras adjuntas muestran las citadas imágenes.



Figura 11.- Imagen Satelital año 2004



Figura 12.- Imagen Satelital año 2010



Figura 13.- Imagen Satelital año 2013



Figura 14.- Imagen Satelital año 2016

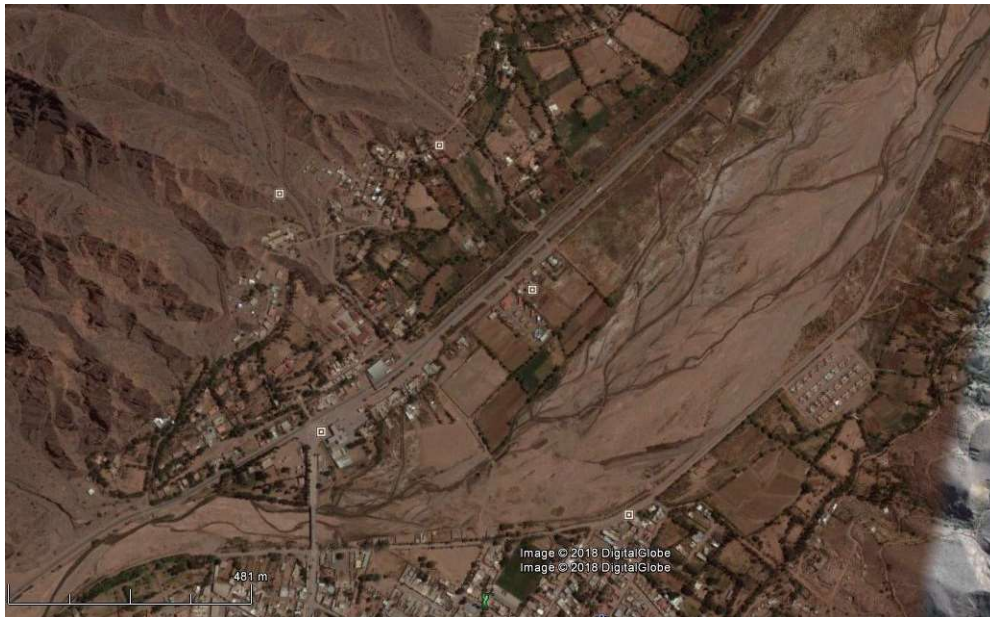


Figura 15.- Imagen Satelital año 2017

En todas la imágenes se puede apreciar algunos aspectos claves, que definen este tramo de cauce como entrelazado o trenzados, es decir con regiones donde los flujos no son tan constantes, lo que permite que los materiales más finos sean depositados sobre estas porciones, presencia de barras laterales, en general son largas, que se desarrollan en áreas de energía relativamente baja a lo largo de las



porciones laterales de la corriente principal, y en algunos casos también se presentan barras transversales al flujo principal de la corriente, que suelen ser características en sistemas de ríos trenzados que transportan una mayor carga de detritos de tamaño arena.

4.2.- Análisis de Movilidad Fluvial

Desde el punto de vista de la estabilidad del cauce, es también importante destacar que esta movilidad que presentan las diferentes vías de escurrimiento, están claramente confinadas por controles estructurales y antropicos, que limitan el desplazamiento de los diferentes canales. En efecto, cuando se analiza las vías de escurrimiento preferenciales en los diferentes años, desde 2004 al 2017, se aprecia claramente que si bien las barras laterales modifican todos los años los canales, en ningún caso se observa que estas vías excedan el valle fluvial activo. En efecto, la figura 16 muestra que tanto para las vías de escurrimiento generadas en el año 2004 (verde), como el 2010 (azul) o el 2014 (rojo).

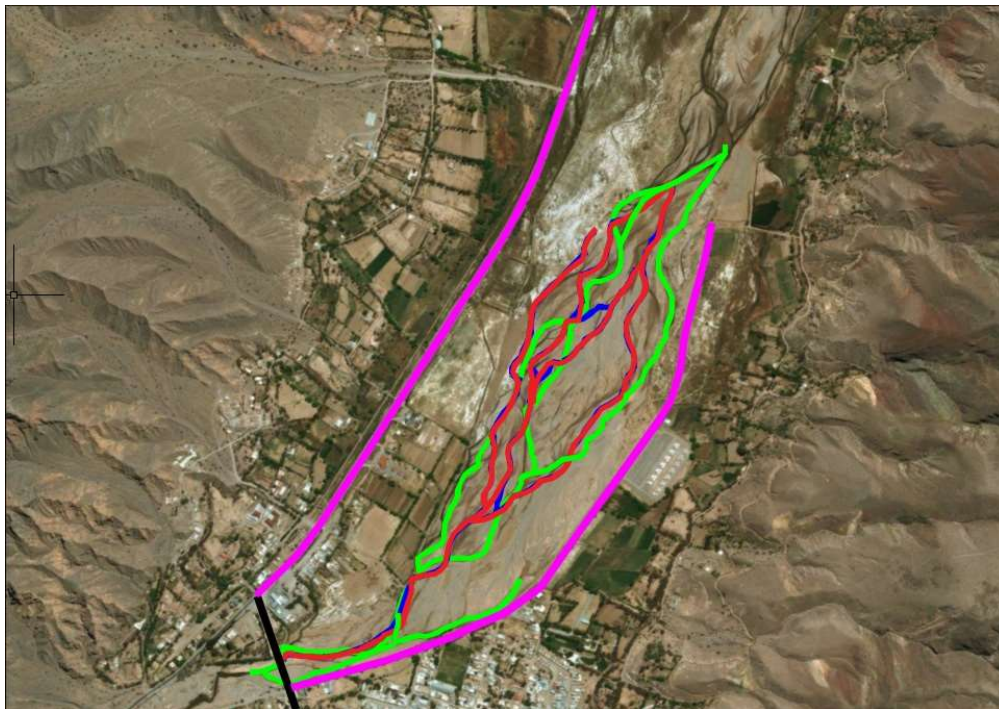


Figura 16.- Vías de escurrimiento para diferentes años sobre el Rio Grande



En la figura, se advierte que los límites antropicos del valle activo, quedan definidos por la RN N°9 al oeste y la ciudad de Tilcara hacia el este (color magenta), mientras que los límites estructurales, conformado por las formaciones montañosas que definen la quebrada, también han sido consolidadas por intervenciones de tipo productivas y/o poblacionales.

Por todo lo expuesto, se puede concluir que si bien la morfología fluvial define estos cauces como entrelazados o trenzados, la conformación de los canales, barras laterales, transversales y movilidad de las vías de drenaje, se producen siempre dentro de lo que se considera el valle activo del Río. Por lo tanto desde el punto de vista fluvial, el tramo analizado presenta un importante grado de estabilidad (en planta), del valle activo en el tramo en el cual se propone la construcción del puente.

5.- ESTUDIO HIDRÁULICOS SOBRE EL RIO GRANDE

5.a.- Relevamiento Topobatimetricos

A través de la Dirección Provincial de Vialidad, se llevo a cabo un relevamiento topobatimetrico, destinado a caracterizar geométricamente el cauce del Río Grande y su valle de inundación, en un tramo comprendido entre la descarga del Río Huasamayo, aguas abajo y a partir de esta sección aproximadamente unos 6.000 mts. Aguas arriba.

El trabajo consistió en el levantamiento de perfiles transversales al Río, distanciados entre si uno 400 m, y con un ancho total que permitiera identificar claramente los márgenes del valle de inundación. En base a este levantamiento, genero una nube de puntos a partir del cual se elaboraron las curvas de nivel en todo el tramo. La figura 17 muestra el tramo relevado y las curvas de nivel generadas a partir del mismo.



Figura 17.- Relevamiento topobatómico tramo de estudio

En base a las curvas de nivel generadas por el levantamiento, e interpoladas se procedió a determinar nuevos perfiles transversales del cauce en todos aquellos sitios considerados de interés desde el punto de vista de la modelación hidrodinámica.

Un aspecto a destacar, es que se observaron luego del levantamiento, algunas singularidades de los perfiles del río, materializados mediante la aparición de sobre elevaciones excesivas en el cauce. Luego del recorrido efectuado en la zona, se pudo establecer que dichas anomalías eran consecuencia de intervenciones antropicas en el interior del cauce, seguramente destinadas a provocar canalizaciones y/o terraplenes, con el objeto de minimizar los efectos de las crecidas en el último periodo estival. En consecuencia estas particularidades fueron consideradas al momento de definir las secciones transversales más representativas del cauce natural.



5.2.- . Análisis Hidráulico del Río y Puentes

Los cálculos hidráulicos se llevaron a cabo con el modelo HEC-RAS para los diversos escenarios de interés práctico que se pudieran presentar. En este caso se consideró el rango de caudales definido por las recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

El paquete de software HEC-RAS (River Analysis System), desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center, 1998) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (U. S. Army Corps of Engineers), es una evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfaz gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional (1D) gradualmente variado en cauces naturales de secciones transversales de geometría cualesquiera.

En base a esta herramienta y con los caudales estimados, y los datos de geometría hidráulica transversal de los cauces en la vecindad inmediata de los puentes (aguas arriba y aguas abajo) se practicó un estudio hidráulico a los fines de estimar las variables hidráulicas de relevancia: niveles característicos, velocidades, números de Froude, etc. Con ello, se completó la verificación hidráulica de cada puente, especialmente el nuevo puente proyectado de acceso Norte a la Ciudad de Tilcara.

Se llevó a cabo una modelación de los tramos de río en la vecindad de cada puente (segmento de aproximación aguas arriba y segmento de restitución aguas abajo), incluyendo el campo hidrodinámico lejano, flujo de aproximación y campo cercano, de modo de calcular con mejor precisión niveles, perfiles de flujo, sobre-elevaciones, velocidades, etc. y además evaluar erosiones por contracción y locales en pilas y estribo.

Para la simulación hidráulica general (de campo lejano) se usó la información topográfica / batimétrica extractada de relevamientos generales y complementarios para modelar hidráulicamente el tramo, descriptos en el punto



5.1. Se obtuvieron los niveles característicos, velocidades típicas dominantes, tensiones de cizallamiento, potencia del flujo y otros indicadores de interés.

El campo lejano se refiere a los procesos hidrodinámicos y morfológicos globales del tramo en estudio, que son los que definen a grandes rasgos las condiciones en las que el flujo acomete sobre la sección del puente, y determinan fundamentalmente los fenómenos relacionados con la erosión general durante crecidas y también la degradación de largo plazo.

Para la modelación hidráulica detallada (campo cercano), se estudió el comportamiento del río en la vecindad inmediata de la obra de cruce. El modelo empleado permite identificar campos de velocidades y niveles para caudales especificados. En este caso, se simulaban varios escenarios para reproducir el comportamiento del flujo en la vecindad del puente. Los procesos que acontecen en el campo cercano definen fundamentalmente los fenómenos de socavación local alrededor de los elementos de fundación del puente (pilas y estribos).

La confección del esquema geométrico para la modelación uni-dimensional requiere datos topo-batimétricos, especialmente consistente en secciones transversales del tramo a modelar. En el esquema siguiente se indican los relevamientos. En la instancia de ante-proyecto se considerarán tres secciones características, a saber: (i) una inmediatamente aguas arriba del puente; (ii) otra en coincidencia con el eje de la traza de proyecto; (iii) otra inmediatamente aguas abajo del puente. En el esquema de la figura 18 se indican esas secciones típicas:

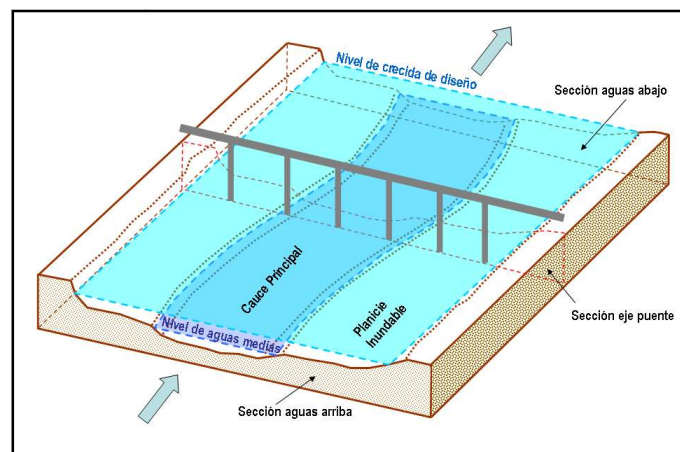


Fig. 18. Identificación de los elementos geométricos esenciales en modelación de puentes



Con esas secciones típicas, en función de su geometría hidráulica, y de las características friccionales del cauce, se estimarán las variables y parámetros hidráulicos de mayor relevancia para el dimensionamiento preliminar del puente (verificación de capacidad hidráulica del puente existente y, en caso de no cumplir, pre-diseño de uno que lo reemplace).

En la instancia de proyecto, se definirán detalladamente los procesos hidráulicos asociados a la hidrodinámica de campo lejano y de campo cercano. Lo primero permite tipificar los elementos globales (remanso, sobre elevación, pendientes, niveles del flujo). La definición detallada de las variables en el campo cercano permitirá cuantificar adecuadamente los procesos erosivos y proporcionarán elementos de ayuda a la definición de la tipología y dimensiones de los componentes estructurales de las cimentaciones del puente.

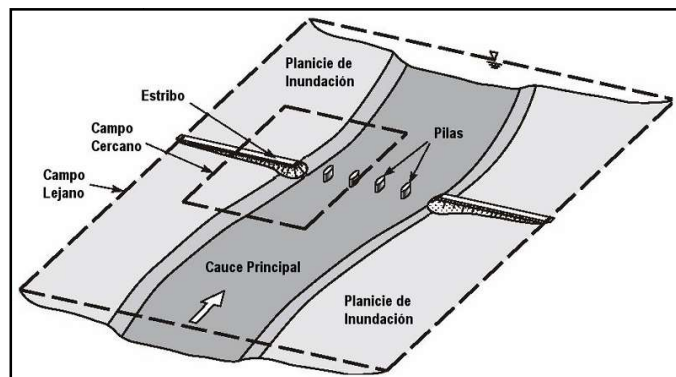


Fig. 19. Esquema conceptual 3D del dominio de estudios hidráulicos

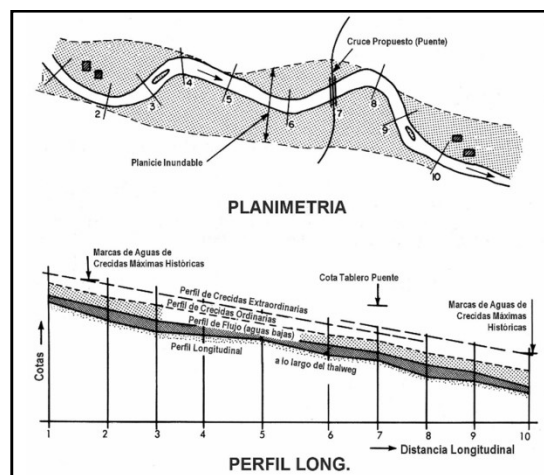


Fig. 20. Planta y Perfil Longitudinal de secciones necesarias para la modelación



El dominio abarca una franja elongada en el sentido del flujo dominante, delimitada por una sección situada aguas arriba del puente, lo suficientemente alejada de aquel para suponer una condición de flujo cuasi-uniforme establecido en el sector, de modo de fijar allí la condición de borde de aguas arriba.

5.2.a.- Escenarios de Modelación

Para la aplicación del modelo se consideraron las secciones resultantes de los relevamientos de campo (cuyos detalles se incluyen en los planos anexos) y se estimaron los coeficientes de rugosidad de cauce principal y planicie inundable teniendo en cuenta los rasgos predominantes de estos cursos fluviales, y también las singularidades observadas durante los trabajos de campaña.

Los cauces principales están compuestos en general por lechos conformados por material granular, con partículas del orden de las arenas (suelos SM en el sistema unificado SUCS) a las gravas gruesas, para los cuales resulta razonable adoptar un valor del coeficiente de rugosidad de Manning:

$$n = 0.045$$

con un rango de variación 0.042 (en crecida) ~ 0.048 (en aguas bajas).

En las planicies inundables se observaron condiciones variables, con presencia de barras de material grueso y presencia de pastizales con vegetación herbácea y arbustiva en algunos sectores ($n = 0.085$), hasta matorrales naturales ($n = 0.09 \sim 0.10$, aprox.).

A los efectos de ubicar el análisis del lado conservador en cuanto a niveles de la superficie libre del flujo, se adoptó $n = 0.045$ para cauce principal, mientras que en planicie se adoptó un valor de rugosidad de $n = 0.100$.

Para los coeficientes de contracción y expansión entre secciones sucesivas, usados en el cálculo de pérdidas de carga a lo largo del curso (que se suma a los procesos friccionales) se adoptaron los valores típicos sugeridos por el modelo por defecto, ya que el sistema cauce-planicie en general no exhibe grandes



variaciones en las dimensiones globales de su geometría transversal a lo largo del curso.

En cuanto a las condiciones de borde adoptadas para la modelación, se consideró la hipótesis de flujo uniforme aguas arriba y aguas abajo del segmento simulado, para lo cual (para el cálculo del tirante normal y relación altura-caudal $h-Q$) se aplicó la pendiente regional dominante en el tramo, la cual es en general bastante uniforme para el río analizado.

En la modelación de puentes, HEC-RAS define internamente dos secciones de cálculo, BU (aguas arriba del puente) y BD (aguas abajo del puente), ubicadas tal como se muestra en la Figura 21.

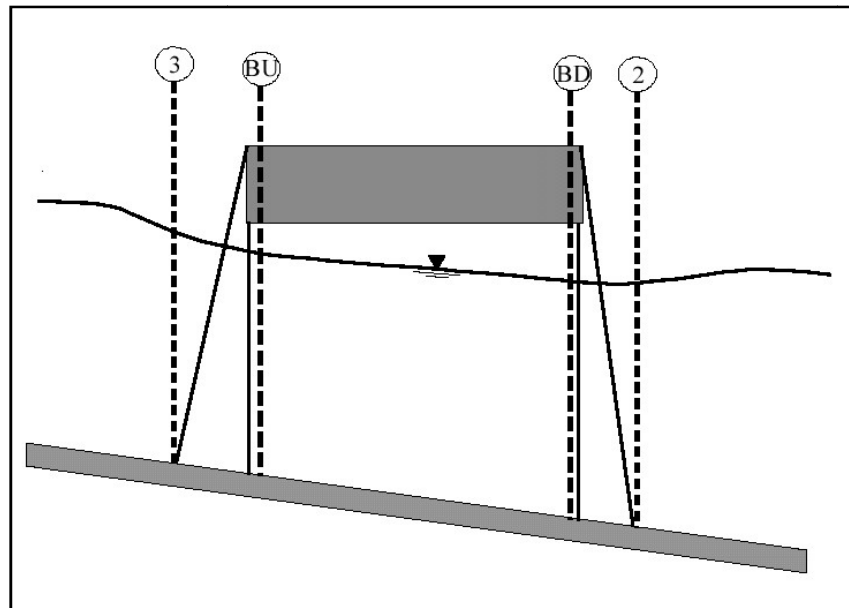


Fig. 21. Ubicación de secciones de cálculo internas

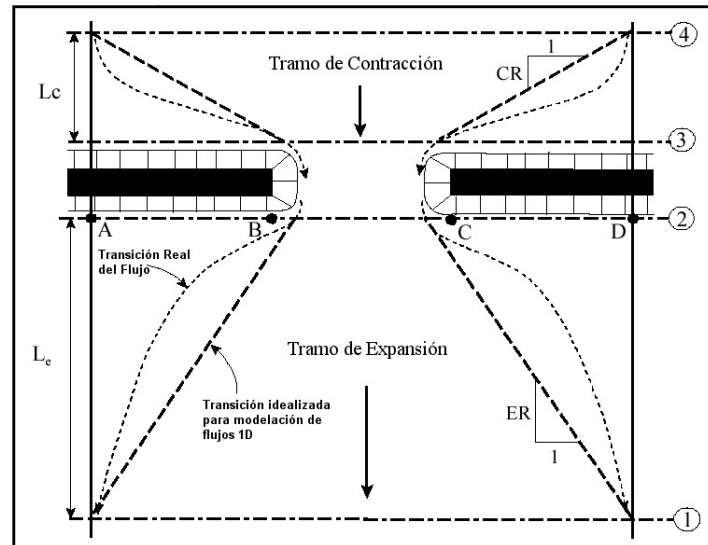


Fig. 22. Esquema de definición de las secciones transversales

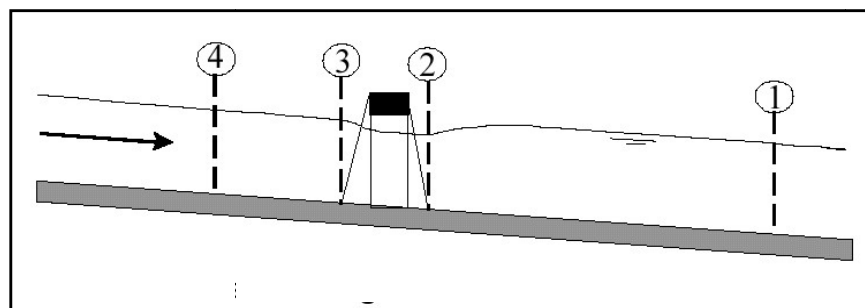


Fig. 23. Esquema de ubicación longitudinal de las secciones

Teniendo en cuenta el esquema anterior, en las secciones que siguen se incluyen los resultados de la modelación indicando el nivel máximo del flujo asociado a los caudales con recurrencias de 100 y a las verificaciones de 700 y 900 m^3/s años, respectivamente, en la sección situada inmediatamente aguas arriba del puente (sección « 3 » en el esquema previo), en la cual se produce el máximo efecto de remanso (curva « M1 » en este caso, para situaciones de flujo sub-crítico).

Este valor de referencia permite establecer, con los resguardos correspondientes, las cotas características de los elementos de la superestructura de los puentes.

Para cada se analizaron 3 escenarios, saber:

E0. Condición “natural” no perturbada (sin puente ni otra obra de cruce).

E1. Puente proyectado de luz dada, condición de fondo fijo



E2. Puente proyectado de luz dada, condición de fondo erosionable.

Para cada uno de estos escenarios se llevaron a cabo las corridas correspondientes, y los resultados se presentan en las secciones siguientes del presente Informe, indicando, en cada caso, los elementos fundamentales resultantes de la modelación.

Entre los aspectos esenciales, se consideraron los perfiles hidráulicos globales, perfiles detallados en la zona de cruce, secciones transversales relevantes y relaciones de descarga “altura-caudal” (curvas h-Q) en las secciones de interés.

Debe mencionarse que, en todos los casos, el modelo se corrió en “modo predictivo”. Es decir, al no contarse con datos de base que permitan llevar a cabo una calibración o “pseudo-calibración” (caudales medidos en simultáneo con perfiles de flujo observados), lo que se hizo fue usar valores de los coeficientes de rugosidad (tal como se indicaron previamente) que se consideran razonables teniendo en cuenta las características predominantes en los tramos del curso de agua simulado, aspecto contrastado con las visitas de campo y con algunas fotografías ocasionales capturadas para crecidas relativamente importantes.

También se tuvieron en cuenta los testimonios de técnicos, productores y pobladores locales, a los fines de inferir cualitativamente ciertos patrones de comportamiento observados durante las crecidas, que confirmaron la razonabilidad de los valores adoptados para los coeficientes de rugosidad.

Igualmente, para los coeficientes de contracción y expansión se adoptaron los valores típicos recomendados en la literatura para estos cursos de agua.

5.2.b.- Resultados de la Modelación para el Río Grande

Se simularon siete (7) caudales característicos, asociados a los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 y verificaciones para 700 y 900 m³/s. Respecto de estos dos últimos valores, los mismos fueron considerados en virtud de la falta de información precisa respecto de los datos usados en la modelación hidrológica (solo una estación pluviométrica), como así también de la falta de datos de aforos



que permitan llevar adelante una calibración razonable del modelo. En consecuencia teniendo en cuenta estos factores, como así también la historia reciente del Río Grande, que ha demostrado una progresiva agadacion del cauce, es que se estimó conveniente efectuar estas verificaciones para adoptar valores de diseño con mayores grados de seguridad.

Por todo ello los caudales de diseño adoptado fue el correspondiente a un TR= 100 años, es decir $Q = 501 \text{ m}^3/\text{s}$ y la verificación efectuada para caudales de caudales de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ a $900 \text{ m}^3/\text{s}$. El conjunto de caudales analizados se presenta en la tabla siguiente (Modelo HECRAS):

Enter/Edit Number of Profiles (25000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach:

River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates						
River	Reach	RS	TR=5	TR=10	TR=25	TR=50	TR=100	Verificacion 1	Verificacion 2
1 RIO_GRANDE	RIO_GRANDE	6391.798	193	223	315	419	501	700	900
2 RIO_GRANDE	RIO_GRANDE	8.983514	193	223	315	419	501	700	900

Luego de varios ensayos de corridas de prueba con alternativas de luces parciales y totales, se decidió disponer de un puente de 100 metros de luz total, con vanos de 25,00 metros cada uno, con pilas cilíndricas de 1,00 de diámetro y estribos cerrados. La cota del fondo de viga se definió en 2511,00 msnm (cota IGN).

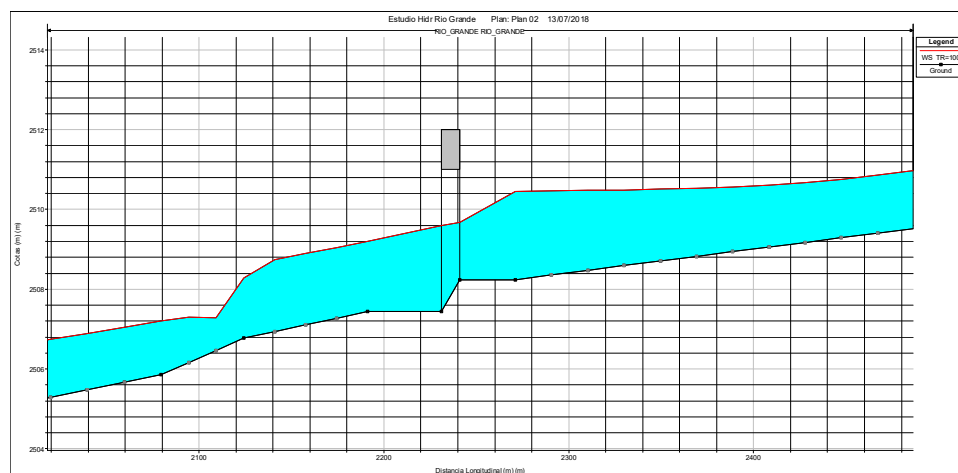


Figura 24.- Río Grande (Nuevo Puente). Perfil Hidráulico general para TR = 100 años ($501 \text{ m}^3/\text{s}$)

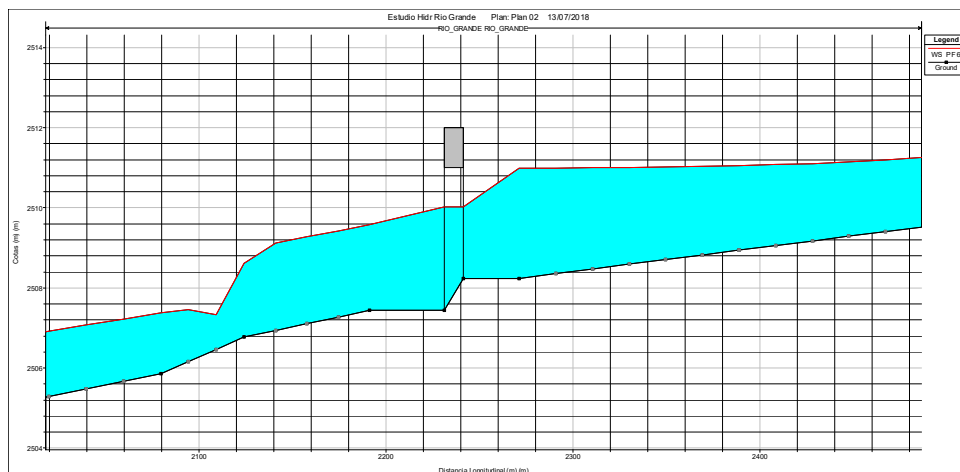


Figura 25.- Río Grande (Nuevo Puente). Perfil Hidráulico general para $QV1 = 700 \text{ m}^3/\text{s}$

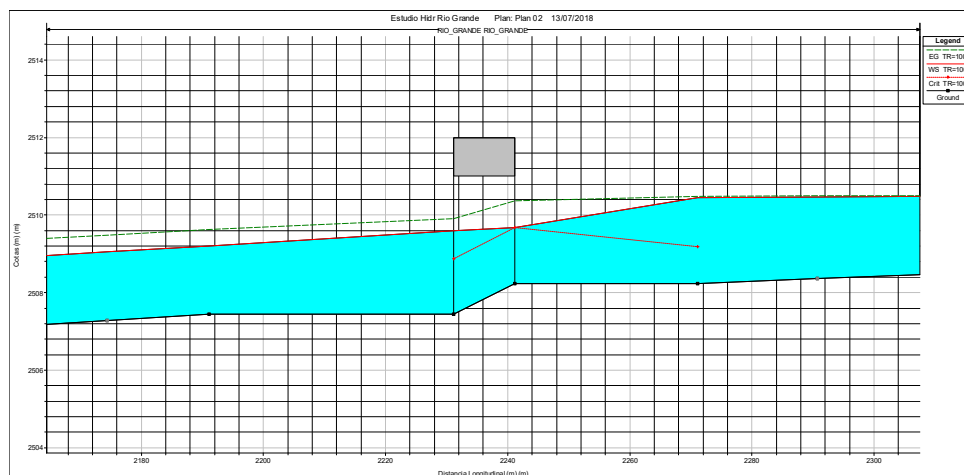


Figura 26.- Río Grande (Nuevo Puente). Perfil Hidráulico detallado para $Q = 501 \text{ m}^3/\text{s}$

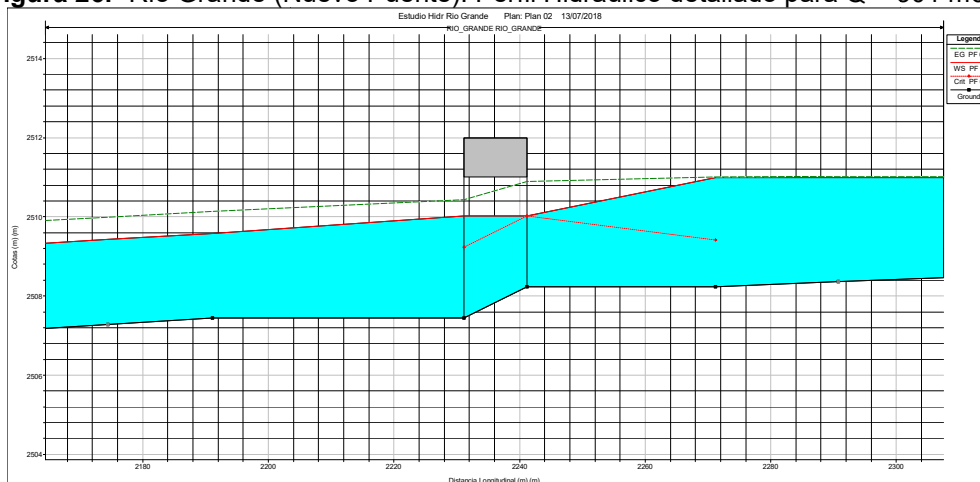


Figura 27.- Río Grande (Nuevo Puente). Perfil Hidráulico detallado para $Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$

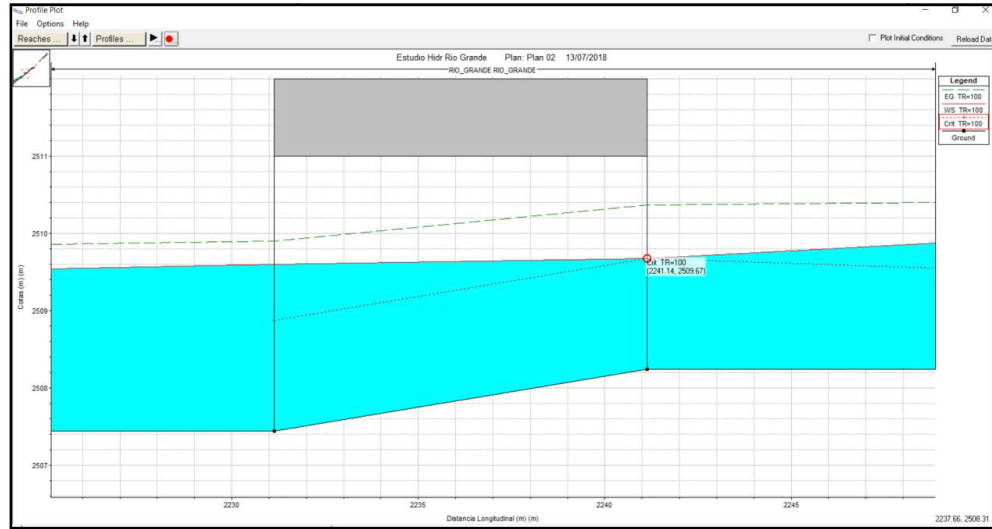


Figura 28.- Detalle del Perfil Hidráulico para $Q = 501 \text{ m}^3/\text{s}$. Cota Max de SL = 2509.67 m

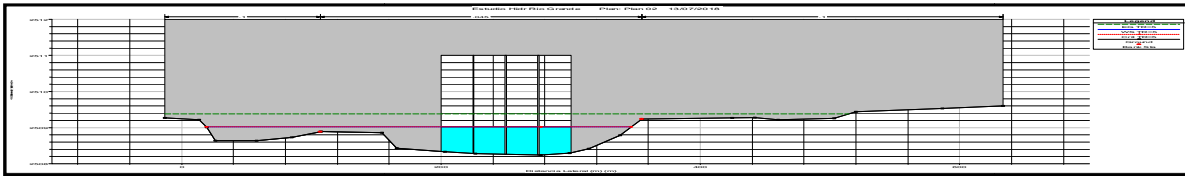


Figura 29.- Perfil Transversal completo en la Sección del Puente

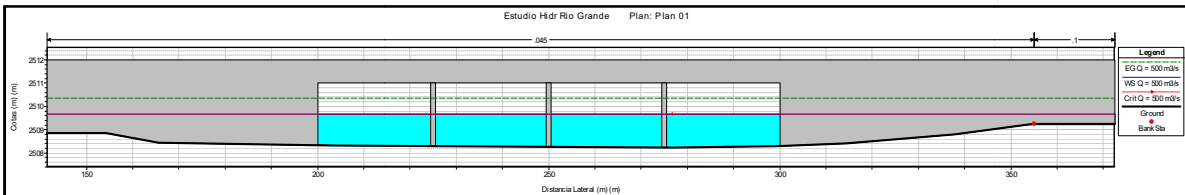


Figura 30.- Perfil transversal detallado. Nivel del Flujo p/ $Q = 501 \text{ m}^3/\text{s}$: $Z_w = 2509.67 \text{ m}$; $Z_{fv} = 2511.00 \text{ m}$ (fondo de viga)

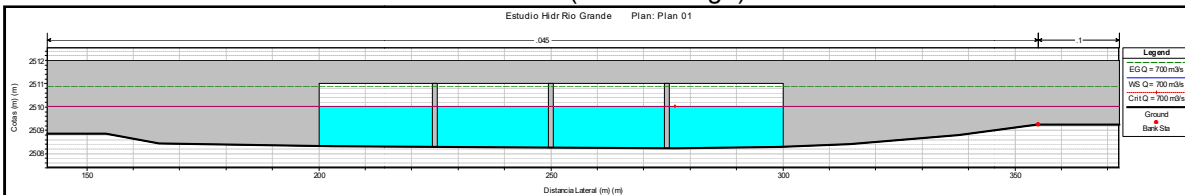


Figura 31.- Perfil transversal detallado. Nivel del Flujo p/ $Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$: $Z_w = 2510.03 \text{ m}$; $Z_{fv} = 2511.00 \text{ m}$ (fondo de viga)

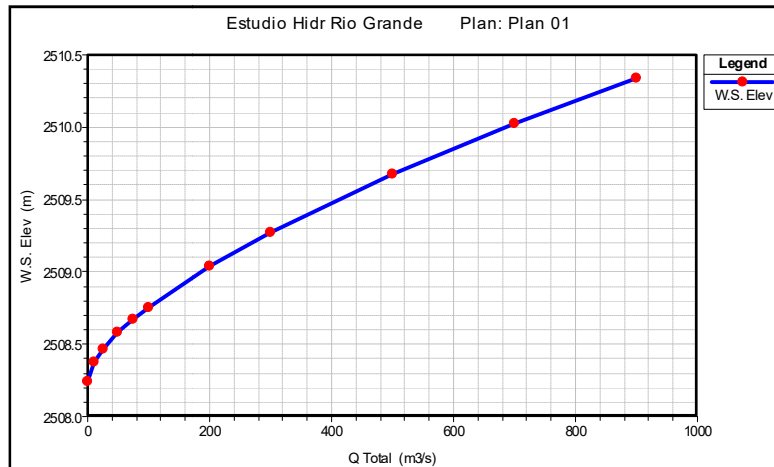


Figura 32.- Curva de descarga h-Q para sección inmediatamente aguas arriba del puente

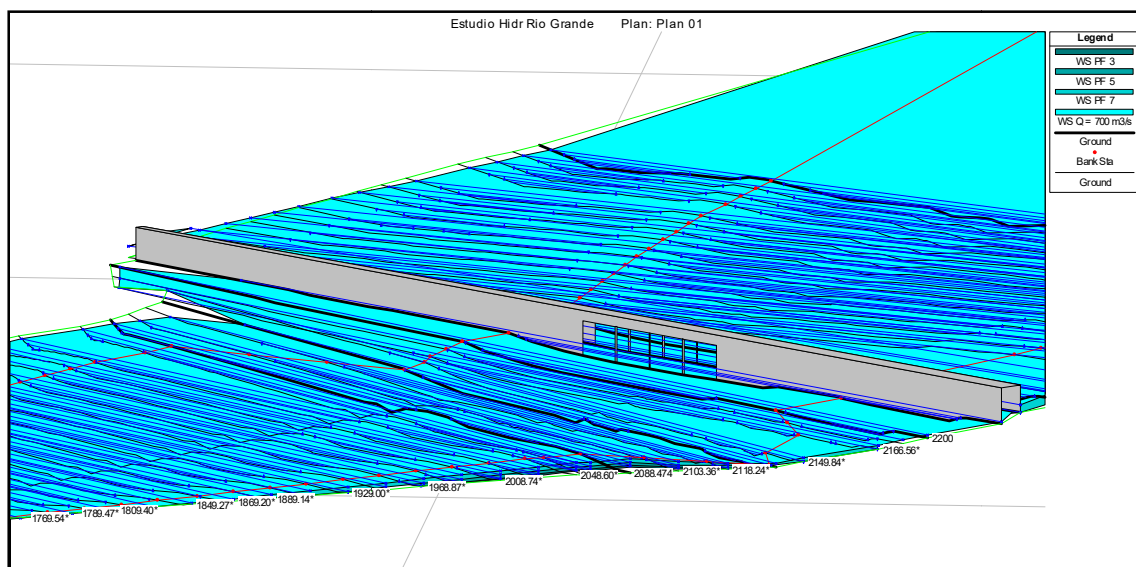


Figura 33.- Vista 3D del patrón de flujo en el puente nuevo para un caudal de 501 m³/s

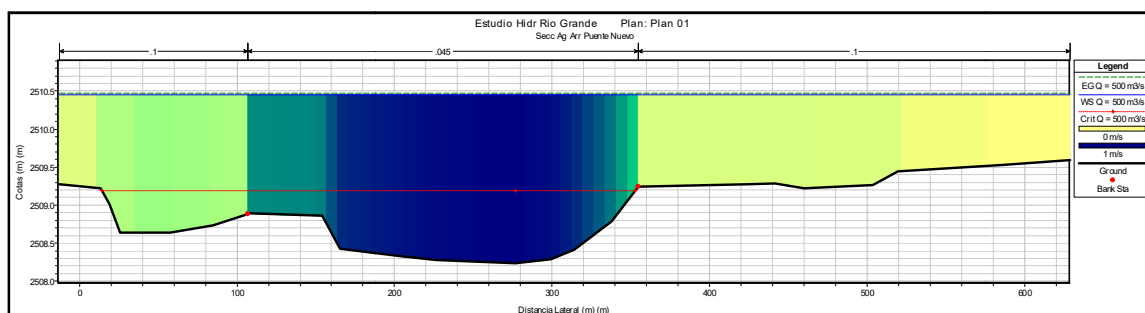


Figura 34.- Distribución lateral de velocidades en la sección de aproximación al puente



El Plano No 1, muestra el perfil longitudinal con los respectivos niveles de crecidas para cada escenario, para todo el tramo analizado.

5.3.- Modelación de erosiones

Los procesos de erosión fluvial pueden producirse tanto en las márgenes como en el fondo del cauce, dependiendo los grados de libertad de este ultimo (Maza Álvarez & García Flores, 1996). En este sentido, el termino erosión o socavación hace referencia a la pérdida del material del lecho y márgenes de un cauce, provocado por la capacidad de transporte del flujo, el cual en general, viene asociada a un evento hidrológico dado.

La profundidad de la erosión que se pudiera alcanzar en cada caso dependerá, entre otras cosas, del tipo y tamaño de las partículas que conforman el lecho y la magnitud y duración del evento hidrológico. Sin embargo se puede considerarse que los factores mas determinantes en los procesos de erosión fluvial, están gobernados por factores geomorfológicos y de transporte.

Bajo este marco conceptual general, es posible distinguir diferentes tipos de erosión los cuales se diferencian en función de las formas y de los tiempos en los cuales estos ocurren. En tal sentido se pueden considerar dos tipos de erosión en ríos, que tienen incidencia en las obras de infraestructura que se pudieran construir en algún sector de la vía de drenaje.

Erosión General

Se denomina así a la disminución en el nivel base del lecho del cauce como consecuencia de aumento en la velocidad y el esfuerzo cortante del flujo en el lecho, que como consecuencia del incremento de estas variables del flujo, pone en movimiento las partículas de fondo y de las márgenes que se encuentran en equilibrio.

Los cambios ocasionados por la erosión general a diferentes escalas espaciales son proporcionales a la escala temporal en que ocurren, es decir, cambios en los patrones de drenaje y perfiles longitudinales en una cuenca varían en escalas de tiempo geológicas, mientras que si se considera un tramo de un río, el



alineamiento de un cauce puede variar desde años a siglos, y si el análisis se concentra en cambios en la sección transversal, estos podrán ocurrir en días a años.

Los cambios a largo plazo son consecuencia de una degradación progresiva debida a cambios hidrológicos y/o geomorfológicos a escala de cuenca, por ejemplo, cambio climático, disminución del nivel base o construcción de una presa. Por su parte si se considera el corto plazo, la erosión general se desarrolla durante una creciente o crecientes continuas durante un espacio temporal corto (días).

La erosión general es un proceso físico complejo, cuyas bases teóricas aún no se encuentran bien definidas y no es posible estimar con confianza los cambios en el lecho tras el tránsito de un flujo. Los factores que influyen en la socavación general se pueden agrupar en tres grupos: factores geomorfológicos, factores de transporte y el tipo de material que conforma el lecho; todos factores únicos para cada río, lo cual dificulta la existencia de una ley general (Melville & Coleman, 2000).

Para el caso que nos ocupa, es decir el diseño de obras de ingeniería (puente y defensas de márgenes) precisamente interesa los procesos de erosión general a corto plazo, es decir generados por eventos extremos.

Erosión Local

Se denomina así, al descenso abrupto en el lecho fluvial, provocado por la remoción del material de fondo, debido a la presencia de algún elemento físico interpuesto sobre el flujo es decir la introducción de una obra dentro del cauce o alguna singularidad natural que se encuentre interpuesta dentro de la corriente. Estas interferencias, modifican localmente las condiciones del escurrimiento (variaciones de velocidades, esfuerzos cortantes, pendientes, etc), que pueden modificar significativamente la capacidad del flujo para movilizar el material del cauce.

Dada la complejidad del movimiento del fluido causante de la socavación localizada, su análisis se deriva en teorías diferentes y en ocasiones



contradictorias, dependiendo de las condiciones que se hayan tenido en cuenta para su definición.

Uno de los factores fundamentales para estimar la profundidad de socavación en cualquier tipo de cauce natural es el tipo de material del lecho que conforma el cauce y está expuesto a las fuerzas erosivas de la corriente. El tipo de material que conforma el cauce hace referencia al tamaño del mismo, e investigaciones han demostrado que en ríos aluviales, es decir, aquellos que corren sobre materiales transportados por el propio río en el pasado geológico, la granulometría del material del lecho está directamente relacionada con las características geomorfológicas de un corriente (Autumn & Springer,

Específicamente para este caso, el cálculo de erosiones generales por contracción y locales se computó para distintos escenarios y aplicando varias formulaciones, con la identificación de sectores críticos. La inspección en campo de los sitios analizados y el estudio de algunos informes técnicos indica que el material del lecho es granular en la mayoría de los casos.

En efecto, de entre los antecedentes de mayor detalle y calidad, se evaluó los estudios geotécnicos efectuados en el marco del proyecto del puente sobre el Río Grande en la localidad de Maimara. Dado la proximidad entre ambas obras y teniendo en cuenta que las características sedimentarias de la cuenca son semejantes, se adoptaron estos valores granulométricos obtenidos en dicho estudio.

En virtud de ello, se aplicaron los criterios estandarizados de la FHWA presentes en el modelo HECRAS. Para ello, en el módulo HDF (Hydraulic Design Functions), se extractó la hidrodinámica de los resultados de las modelaciones numéricas, y sobre la base de la geometría y disposición (layout) de los elementos estructurales de las cimentaciones de los puentes se procedió al cálculo de las erosiones correspondientes a los distintos escenarios de análisis.

En la figura 35 se presenta en forma esquemática la manera en la cual se obtienen los valores de erosión estimada en el modelo HECRAS, y que se reproducen para cada puente estudiado en la sección correspondiente del Informe Técnico.

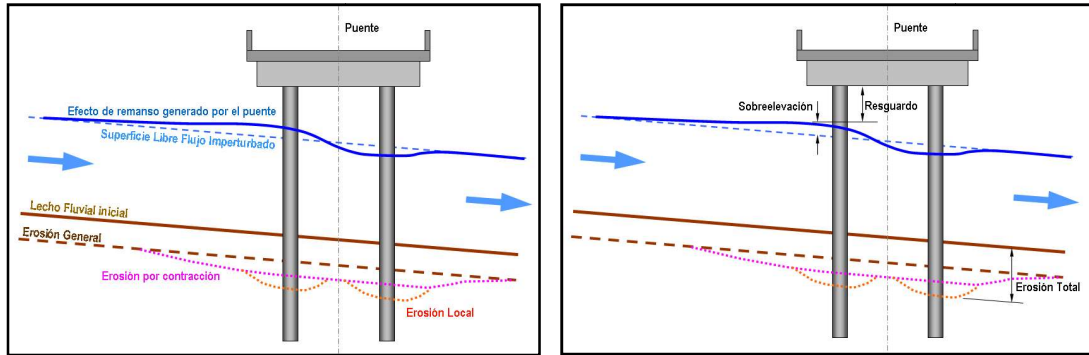


Figura 35.- Elementos hidráulicos esenciales y erosiones calculadas con HECRAS

Los resultados obtenidos en virtud de los datos extraídos del modelo se presentan en las secciones siguientes del presente Informe.

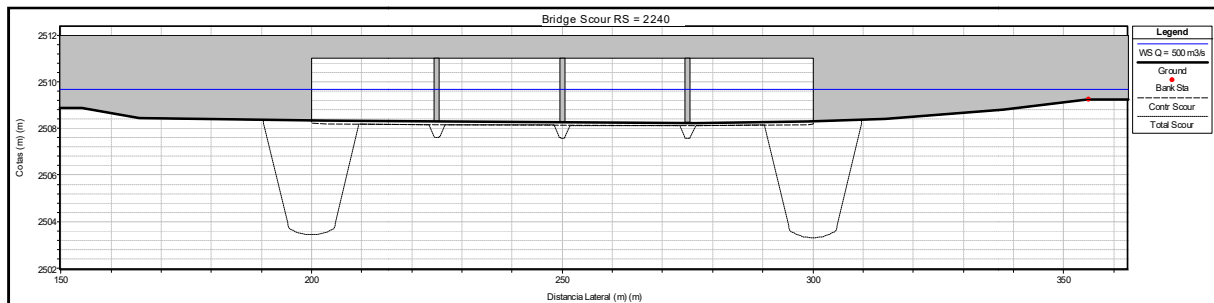


Figura 36.- Diagrama de erosiones totales (contracción, local en pilas, local en estribos) para el caudal de diseño

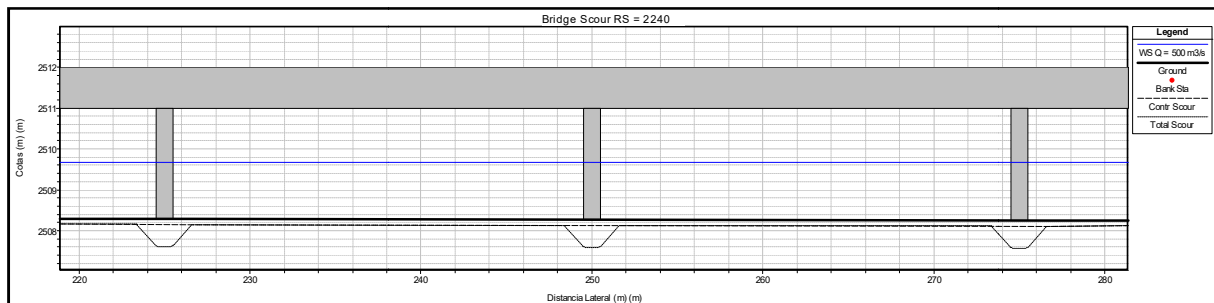


Figura 37.- Detalle de las erosiones calculadas, por contracción + erosión local en pilas

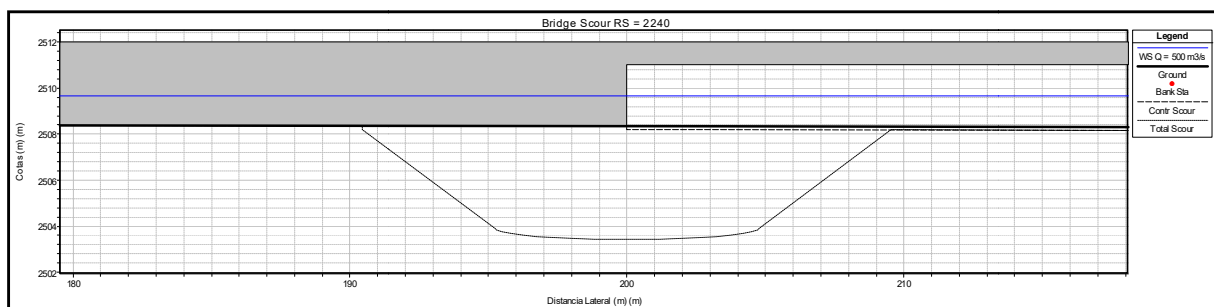


Figura 38.- Detalle de las erosiones calculadas, por contracción + erosión local en estribo de margen izquierda (MI)

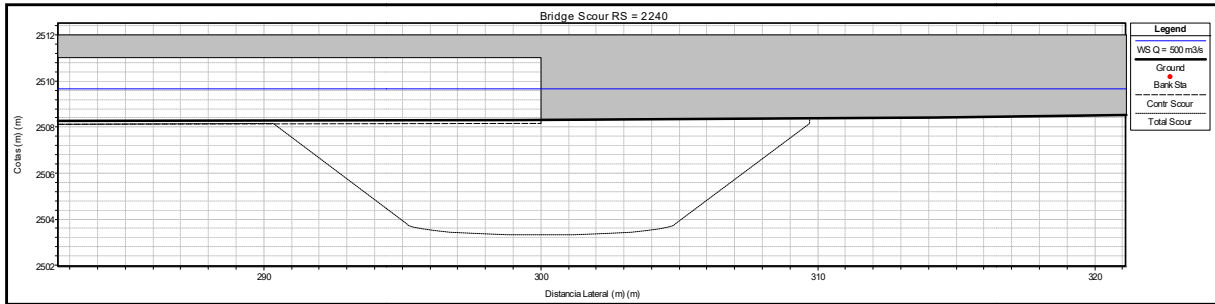


Figura 39.- Detalle de las erosiones calculadas, por contracción + erosión local en estribo de margen derecha (MD)

Recomendaciones a cerca de la profundidad de fundación

En virtud de los resultados obtenidos respecto de los procesos de erosión general (por contracción) y la local, por los efectos de pilas y estribos, se recomienda para las cimentaciones del puente se deberá tener en cuenta la presencia de erosiones globales potenciales del orden de los 5 metros.

Cabe destacar que esta consideración hidráulica, deberá ser compatibilizada con los estudios de suelos que necesariamente se deberán efectuar para la construcción del puente.

6.- OBRAS PROPUESTAS

Atendiendo a los requerimientos de la Secretaria de Infraestructura del Ministerio de Infraestructura, Tierra y Viviendas de la provincia de Jujuy, respecto de la necesidad de poder contar con una línea de control del cauce, que a su vez permita urbanizar, con usos de suelo restringido las márgenes del Rio Grande, sobre el ejido municipal de la localidad de Tilcara, como así también las necesidades de incorporar un nuevo puente sobre el Rio Grande, se procedió a diseñar un sistema de defensas marginales, destinadas a controlar los niveles del Rio a lo largo ambas márgenes y a establecer las condiciones hidráulicas mínimas requeridas para la construcción del puente

6.1.- Obras de protección de márgenes

Básicamente el esquema de obras propuestas, consiste en la construcción de muros laterales, conformados por gaviones y colchonetas, cuya altura viene



definida por las cotas máximas alcanzadas en la modelación hidrodinámica. A este respecto es conveniente llevar a cabo las siguientes consideraciones. En virtud del análisis relativo a la historia morfológica del Río Grande, se observa que el mismo presenta una acentuada tendencia a la agradación, es decir que con el paso de los años, el nivel de fondo del lecho se incrementa como consecuencia de los procesos de deposición de sedimentos que se generan en el cauce, tras el paso de las crecidas.

Es importante destacar esta característica, ya que la elección en la altura de las defensas de márgenes, no solo deberán ser fijadas en función de los niveles líquidos estimados en base a la modelación hidrodinámica, ajustada a las condiciones topobatómetricas actuales, sino también a la sobre elevación del fondo del lecho. Lamentablemente no se cuenta con registros batimétricos históricos que permitan estimar una tasa de agradación, sin embargo en base a entrevista con pobladores locales, análisis de las defensas de margen izquierda existentes, y el diseño del puente existente, permiten estimar que este proceso debe ser considerado a la hora de definir la altura máxima de la protección.

A tales efectos, en primer instancia se definió la longitud del cauce a proteger en ambos márgenes, decisión esta que fue adoptada según los requerimientos de la Secretaría de Infraestructura de la Provincia de Jujuy.

La figura 40, muestra el sector sobre el cual se plantearán las obras de protección en ambos márgenes del Río Grande.

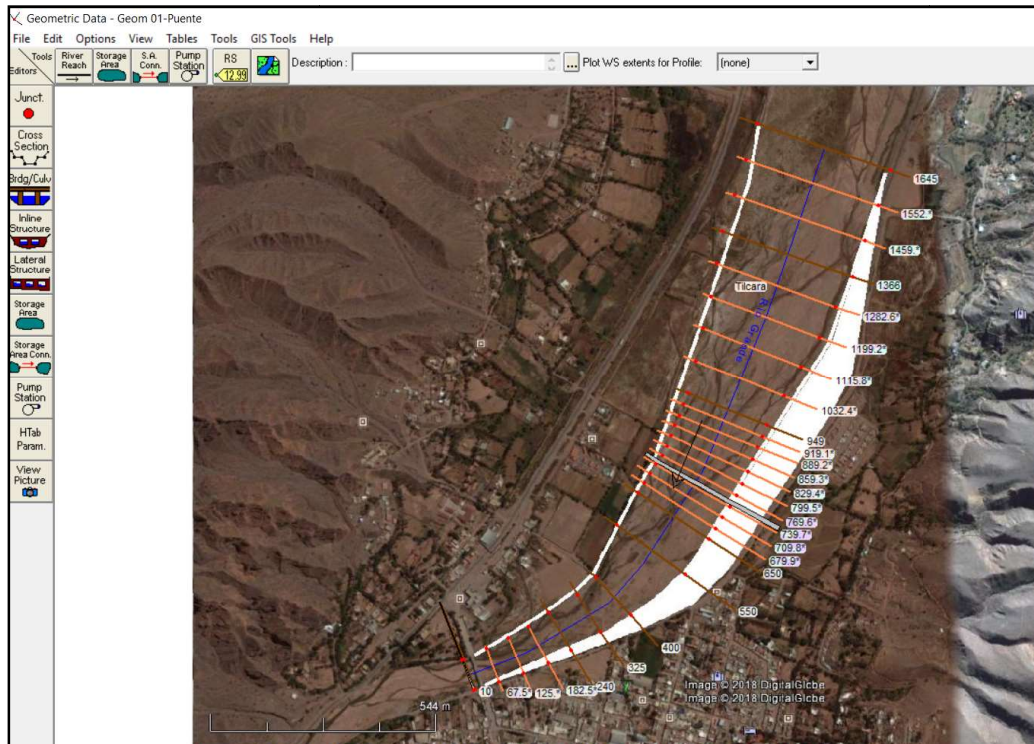


Figura 40.- Esquema de protecciones de márgenes en localidad de Tilcara

Se asumieron secciones rectangulares, definidas por las actuales cotas de talweg del Rio Grande, a los efectos de mantener las pendientes de equilibrios del cauce y la márgenes confinadas mediante muros de gaviones.

Bajo estas condiciones geométricas, y considerando la presencia del actual puente carretero, como así también el que se propone construir, se procedió efectuar una nueva corrida del modelo hidrodinámico, para las condiciones impuestas. La figura 41 representa el perfil hidrodinámico para los diferentes caudales adoptados para el cálculo. Se observa que en ningún caso los tirantes líquidos son mayores a los 2 m, siendo el promedio aproximadamente 1.5m

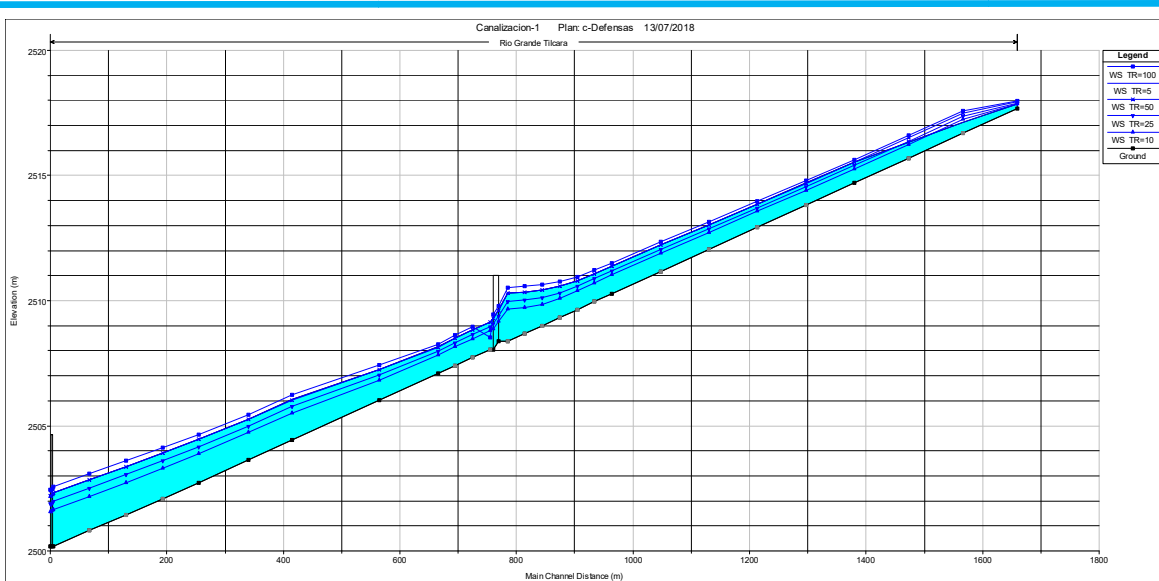


Figura 41.- Perfil hidráulico Rio Grande, en el tramo intervenido

La figura 42, muestra una vista tridimensional del tramo del Rio en el cual se incorporan las defensas de ambas márgenes.

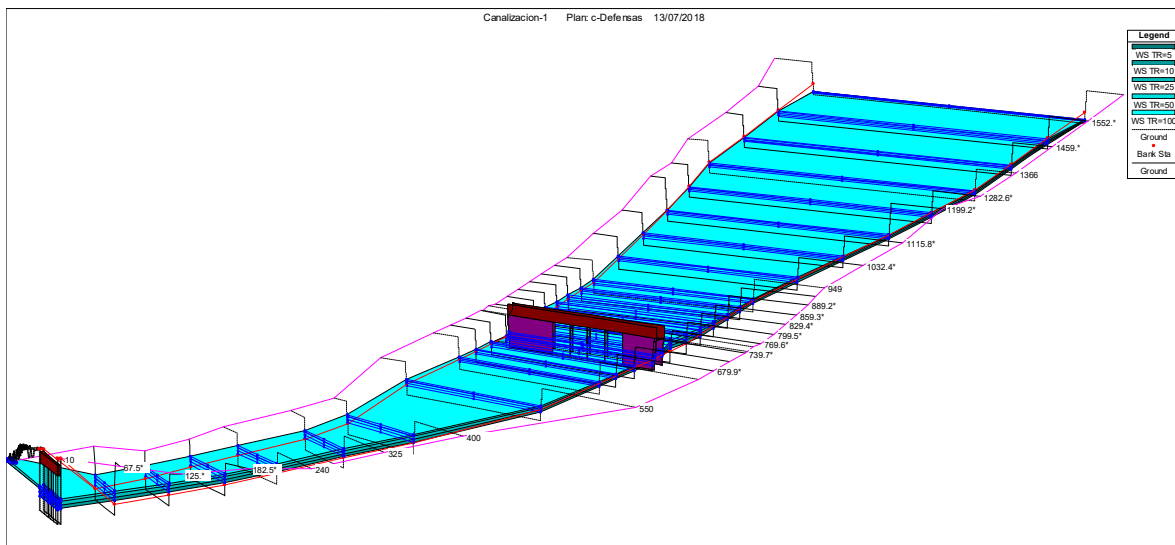


Figura 42.- Vista 3D del sector con protección de márgenes

En el plano 2, que se adjunta al presente informe muestra los niveles máximos, para cada escenario de caudal evaluado, en el tramo donde se propone las obras de protección de márgenes la disposición en planta y un corte de las defensas propuestas. Finalmente el Plano 3, muestra la disposición y dimensiones de las



defensas de márgenes y su disposición en planta. Un aspecto importante destacar, es que sobre el paramento seco de los muros de gaviones se deberá proceder al relleno con suelo, básicamente aportado por el material extraído del lecho, para alcanzar la geometría propuesta.

Esta área de relleno tiene dos objetos, por un lado proveer de mayor estabilidad a los muros de gaviones y por otra aprovechar las superficies que esto genera, mediante la instalación de infraestructura urbana.

Asimismo se deberá prestar especial atención en lo descargas de los drenajes hacia el Rio Grande. En efecto, desde ambas márgenes del Rio drenan diferentes vías provenientes tanto de aéreas urbanas como de áreas rurales. Esta situación se presenta hoy sin ningún tipo de control, condición esta que deberá ser modificada ante la presencia de las obras de defensas de márgenes. Ello implica que deberán generarse colectores pluviales para descargar sobre el rio en puntos específicos, ya que de esta manera se reducirá la cantidad de obras de drenaje transversales en las defensas. Naturalmente este esquema de drenajes dependerá de los elementos urbanos existentes, como así también los que se pretende incorporar en los terrenos rellenados.

6.2.- Computo Métrico

Las cantidades aquí descriptas, surgen de un análisis expeditivo efectuado en base las dimensiones de los perfiles transversales adoptados y las longitudes de protecciones requerida a ambas márgenes del Rio. La tipología del perfil y las longitudes son las indicadas en el plano 3.



GAVIONES (H=3 m)			
Margen	Cantidad	Longitud [m]	[m ³]
derecha	6.5	1716	11154
Izquierda	6.5	1543	10029.5
Subtotal			21183.5
COLCHONETAS (H=0.3 m)			[m ²]
derecha	6	1630	9780
Izquierda	6	1440	8640
Subtotal			18420
GEOTEXTIL			[m ²]
derecha	11	1716	18876
Izquierda	11	1543	16973
Subtotal			35849

Movimiento de Suelos Excavacion y Relleno			
Margen	Area	Altura	Volumen
	[m ²]	[m]	[m ³]
Izquierda	137590	1.5	206385
Derecha	157890	2	315780
Total			522165

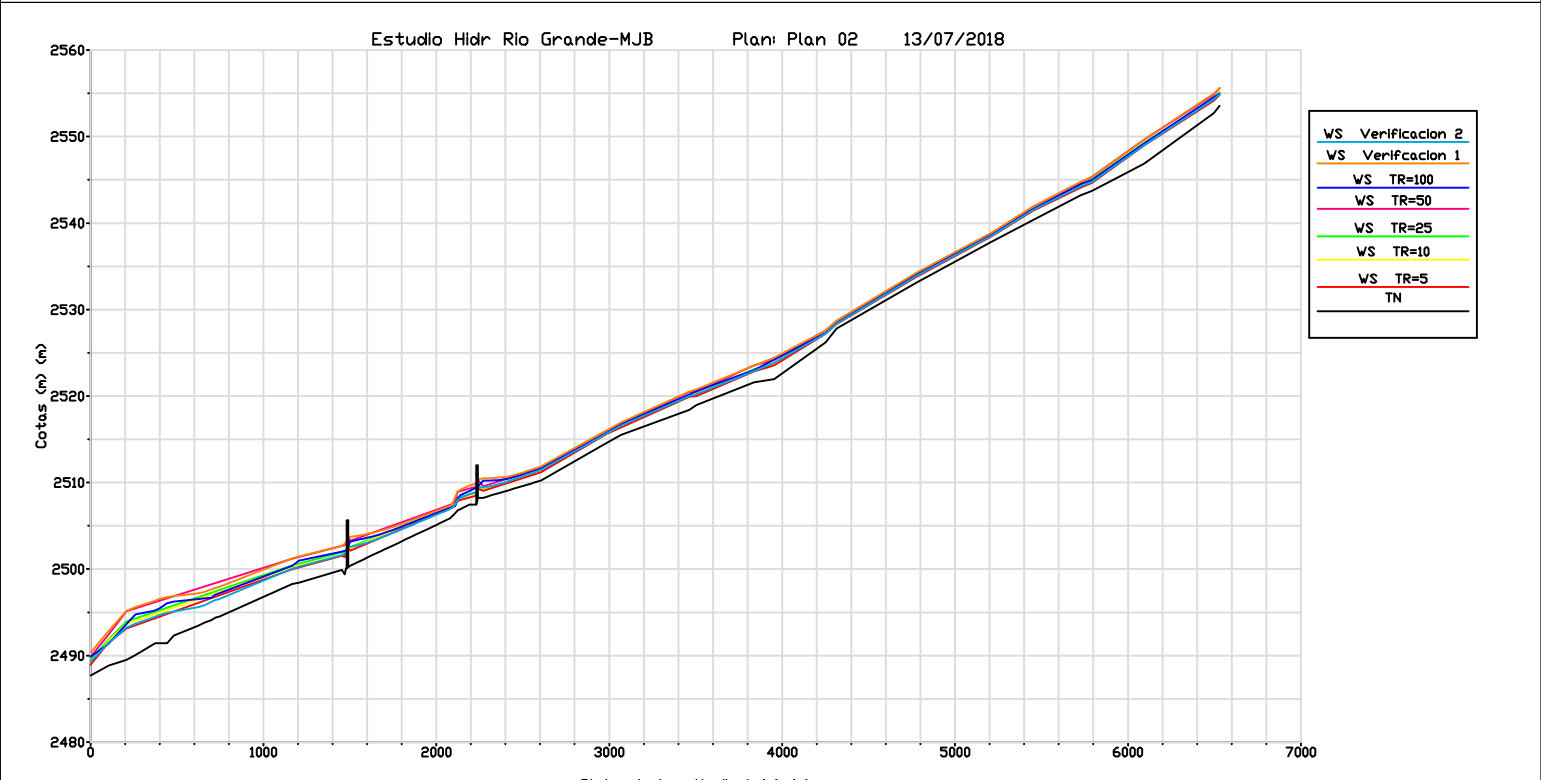
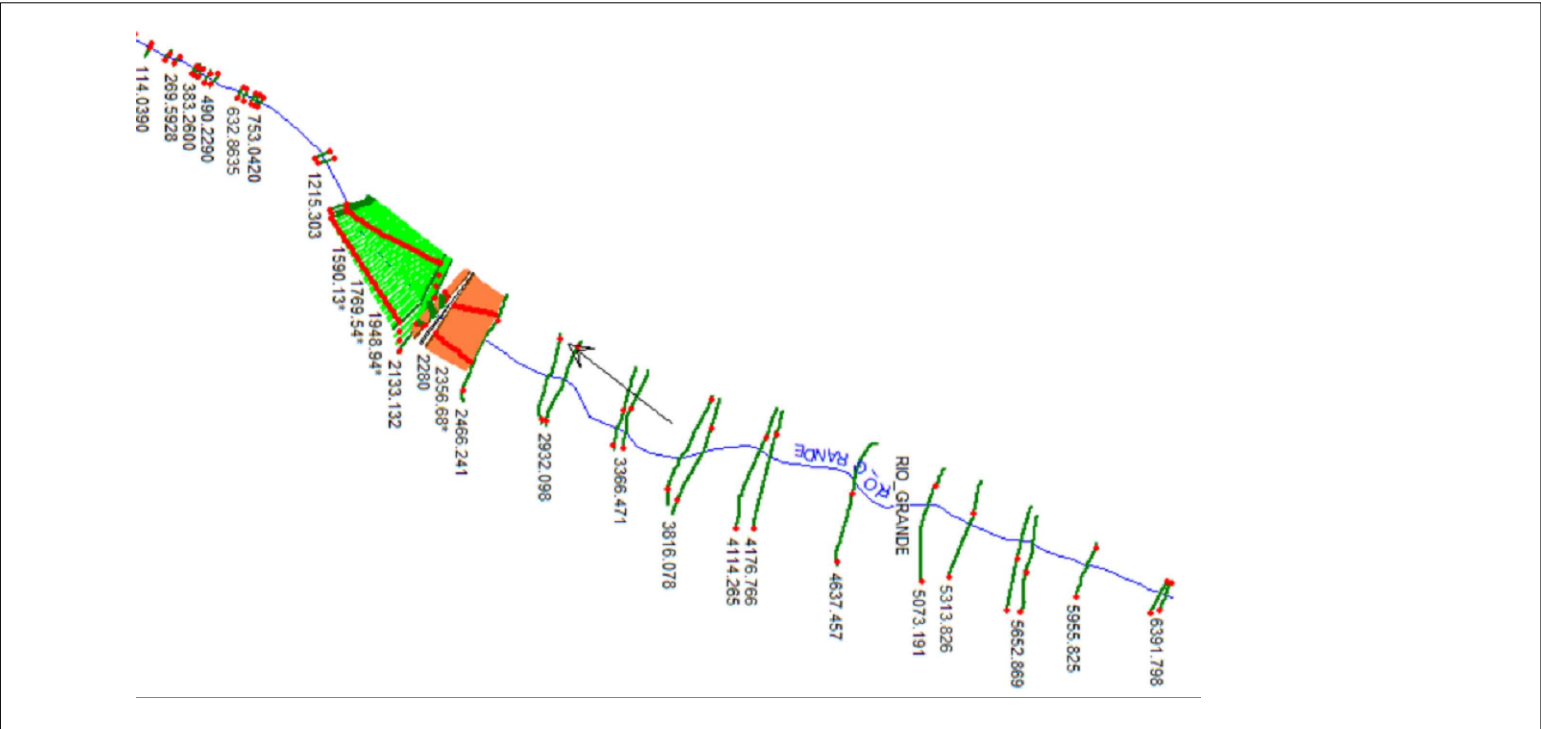
7. Bibliografía

- Aparicio, J. (1987): *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Ed. Limusa – Noriega Editores, México DF, México.
- Barrera, D. (1999): “Estudio de la precipitación en el Río Iruya”. Informe Final. Convenio COREBE - Universidad de Buenos Aires (1999).
- Bianchi, A. R. y Yañez, C.E. (1992): "Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino NOA"; 2° Ed.; INTA, E. E. A. Salta, Prov. de Salta, Argentina.
- Chow, V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays (1994): *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill Interamericana S. A.
- Hoffmann J.A.L. (1971). *La distribución geográfica de las precipitaciones*

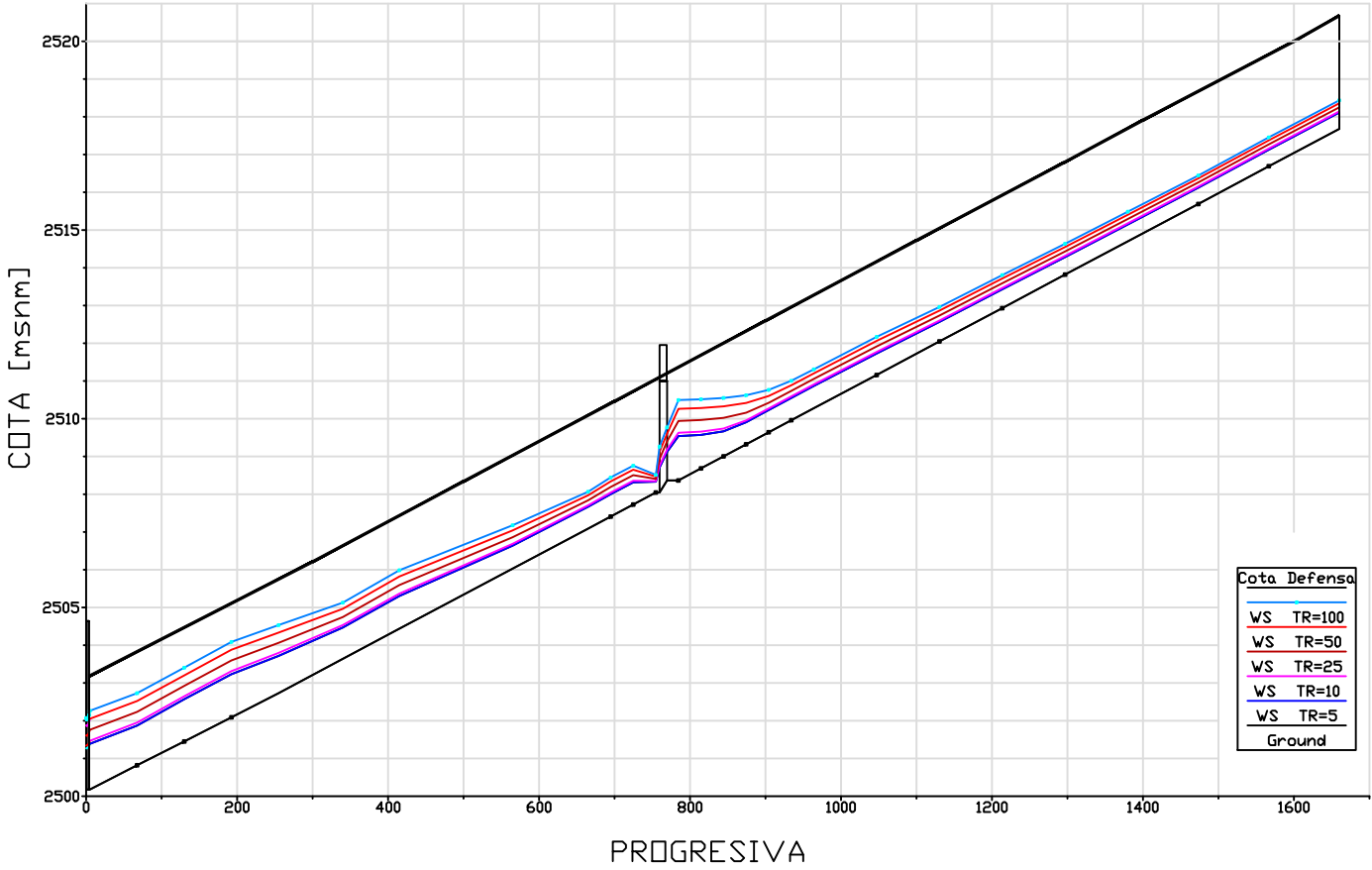
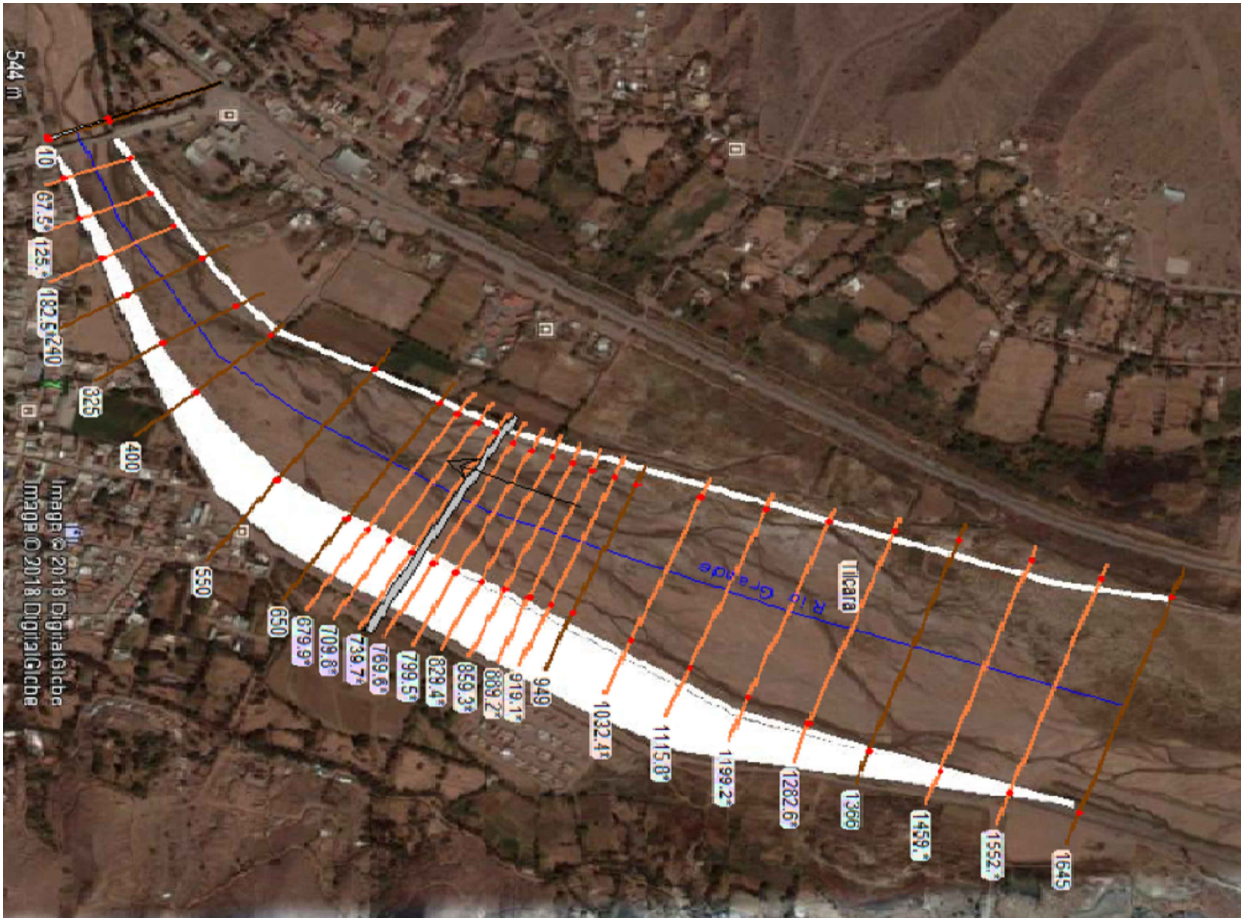


en el Noroeste Argentino. Grupo de trabajo atlas climáticos. Asociación Regional III. OMM-SMN-UBA. Meteorológica, Vol II. Pp. 230-343.

- Hoffmann J.A.L. (1975). *Atlas Climático de America del Sur*. World Meteorological Organization.
- Lessmann H. (sin fecha). *Clima de la Alta Cuenca del río Bermejo. Distribución anual media de las precipitaciones de la Cuenca*. Documento provisorio OEA.
- Maidment, D.R. (Editor) (1993). *Handbook of Hydrology*, McGraw Hill Book Co., New York, USA.
- Ponce, V. M. (1989): *Engineering Hydrology: Principles and Practice*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.



SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA - MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS TIERRA Y VIVIENDA			
OBRA: ESTUDIOS HIDROLOGICOS, HIDRAULICOS Y FLUVIOMORFOLÓGICOS PARA PUENTES S/RIO GRANDE			
UBICACION: TILCARA - DPTO. TILCARA PCIA. DE JUJUY			
PLANO: PERFIL LONGITUDINAL TRAMO MODELADO			
EXPEDIENTE:	FECHA:	OBSERVACIONES:	ESCALAS:
LEVANTO:			
PROYECTO:			
CALCULO:			
DIBUJO:			
V B JEFE DIV.		SUSTITUYE LAMINA Nº	LAM Nº
V B JEFE DTO.			
V B DIRECTOR		SUSTITUIDO POR LAM. Nº	1



SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA - MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS TIERRA Y VIVIENDA			
OBRA: ESTUDIOS HIDROLOGICOS, HIDRAULICOS Y FLUVIDIMORFOLÓGICOS PARA PUENTES S/RIO GRANDE			
UBICACION: TILCARA - DPTD. TILCARA PCIA. DE JUJUY			
PLANO: PERFIL LONGITUDINAL TRAMO c/GAVIONES			
EXPEDIENTE:	FECHA:	OBSERVACIONES	ESCALAS
LEVANTO:			
PROYECTO:			
CALCULO:			
DIBUJO:			
Vº Bº JEFE DIV.		SUSTITUYE LAMINA Nº	LAM Nº
Vº Bº JEFE DTO.			Nº ARCH.
V B DIRECTOR			2