

AMPLIACION DE CONTRATO

En Montevideo, el día 06 de octubre de 2016, entre POR UNA PARTE: **CORPORACION VIAL DEL URUGUAY S.A.** (en adelante "el Contratante"), representada en este acto por la Cr. Jorge Perazzo, titular de la cédula de identidad N° 847.867-3 y por el Ing. Carlos Colacce, titular de la cédula de identidad N° 1.167.582-0, constituyendo domicilio en Rincón 528 piso 5°; **POR OTRA PARTE: TECHINT S.A.C.I** (en adelante "el Contratista"), representada en este acto por el Ing. Alejandro Foglia, titular de la cédula de identidad N° 1.175.006-4 y el Cr. Pablo Faybisovich, titular de la cédula de identidad N° 5.979.521-0 constituyendo domicilio en la calle La Cumparsita 1373 Piso 7, **CONVIENEN LO SIGUIENTE:**

PRIMERO – ANTECEDENTES

- I) La Corporación Vial del Uruguay S.A. llamó a licitación para la realización de la obra M/46 "**Mantenimiento por Niveles de Servicio de Ruta 9 tramo Pan de Azúcar - Rocha**". Luego de analizadas las ofertas presentadas a dicho llamado, el Directorio de la Corporación Vial del Uruguay S.A resolvió adjudicar los trabajos de referencia a la empresa TECHINT S.A.C.I y suscribió contrato a esos efectos el día 04 de abril de 2014.
- II) Por expediente N° 2158/2016 el MTOP solicita a la Corporación Vial del Uruguay S.A., gestionar una Ampliación de Contrato para realizar trabajos de Terceras vías en Ruta. Luego de analizadas las actuaciones anteriores, el día 17 de agosto de 2016 el Directorio de la Corporación Vial del Uruguay S.A, resuelve autorizar la Ampliación de Contrato correspondiente.
- III) Por expediente N° 2079/2016 el MTOP solicita a la Corporación Vial del Uruguay S.A., gestionar una Ampliación de Contrato para realizar la construcción de un nuevo Puente sobre el Canal Andreoni, de acuerdo con lo previsto en el Objeto del presente Contrato de ampliación.
- IV) Luego de analizadas las actuaciones anteriores, el día 17 de agosto de 2016 el Directorio de la Corporación Vial del Uruguay S.A, resuelve autorizar la Ampliación de Contrato correspondiente.

SEGUNDO – OBJETO

A través de la presente Ampliación de Contrato, las partes acuerdan realizar la "*Construcción de un nuevo Puente y accesos sobre el Canal Andreoni en Ruta 9*", siendo de aplicación lo dispuesto en la Cláusula 14.4 de la Sección I del Pliego de Condiciones.

Se agrega al presente contrato, el Cuadro de Metrajes (Anexo I) correspondiente a los trabajos mencionados en el párrafo anterior.

TERCERO – PRECIO

El Precio Global básico de la presente Ampliación, (sin impuestos ni leyes sociales) es de **(pesos uruguayos setenta y cinco millones cuatrocientos cuarenta y siete mil novecientos cincuenta y ocho 00/100) \$U 75:447.958**, de acuerdo a lo previsto en el Pliego de Licitación/Sección I/Art. 14.4.

CUARTO – MONTO IMPONIBLE

El monto imponible de jornales a valores básicos es de (pesos uruguayos catorce millones setecientos cuarenta y ocho mil seiscientos treinta y uno con 35/100) \$U 14:748.631,35.

QUINTO – PLAZO

El plazo de la presente ampliación será de 12 meses de acuerdo con el Anexo II (PDT y PFF) que se agrega y forma parte de este contrato, debiendo estar en condiciones de habilitar el tránsito sobre el nuevo puente en 10 meses.

SEXTO – PROYECTO

Los trabajos objeto del presente contrato se ejecutarán de acuerdo a lo previsto en el Anexo III, que se agrega y forma parte de este contrato.

SEPTIMO - PERÍODO DE RESPONSABILIDAD POR DEFECTOS

Se establece un período de conservación de 36 meses, contados a partir de la Recepción Provisoria Total de las obras.

OCTAVO - GARANTÍA DE FIEL CUMPLIMIENTO DE CONTRATO

El contratista constituyó Garantía de Fiel Cumplimiento de Contrato, mediante Póliza de SANCOR SEGUROS, Ref. 186570 - N° 12303 por un monto de (dólares americanos ciento treinta y ocho con 00/100) USD 138.000.

NOVENO – PREVISIONES VARIAS

En todo lo no modificado por el presente acuerdo, continuarán vigentes y válidos todos los términos establecidos en el Contrato de fecha 04 de abril de 2014 y todos los demás documentos que forman parte del mismo.

DECIMO – COMPETENCIA Y JURISDICCION APLICABLE

Las partes aceptan como derecho aplicable a este Contrato el Derecho Privado y la competencia y jurisdicción de los tribunales de la ciudad de Montevideo, y renuncian a cualquier otra opción.

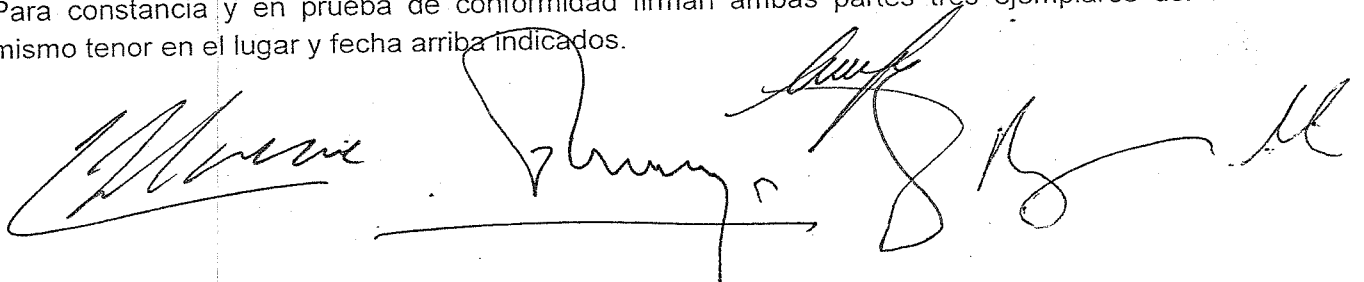
DECIMOPRIMERO – DOMICILIOS

Las partes constituyen domicilio a todos los efectos de este contrato en los indicados como suyos en la comparecencia, donde serán válidas todas las comunicaciones y notificaciones que se cursen en forma fehaciente.

DECIMOPRIMERO – NO OBJECION DEL CONCEDENTE

Este acuerdo se firma sujeto a la No Objeción por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Para constancia y en prueba de conformidad firman ambas partes tres ejemplares del mismo tenor en el lugar y fecha arriba indicados.



ANEXO I

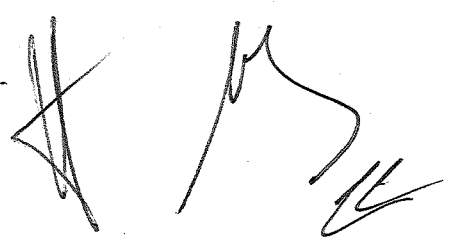


FLUJO DE FONDOS NUEVO PUENTE Y ACCESOS EN EL CANAL ANDREONI - RUTA 9

Grupo	Rubro	Descripción	Unidad	Precio Unitario	Precio	Total
ACCESOS AL NUEVO PUENTE						
2	8	Excavación no clasificada de préstamo	m3	527,30	4.956.620	
5	101	Mezcla asfáltica para base negra	ton	2.654,00	2.948.594	
5	102	Mezcla asfáltica para carpeta de rodadura	ton	2.794,00	3.484.118	
6	111	Ejecución de riego bituminoso de imprimación	m2	25,80	299.564	
6	114	Ejecución de tratamiento bituminoso doble	m2	106,60	406.999	
6	118	Ejecución de riego bituminoso de adherencia	m2	30,90	225.848	
7	133	Base granular CBR>80% (con transporte)	m3	1.090,60	7.361.550	
9	211	Agregados pétreos gruesos y medianos para tratamiento	m3	2.355,10	223.735	
13	273	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 50 cms (sin cabezales)	ml	7.216,20	411.323	
13	275	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 80 cms (sin cabezales)	ml	12.165,20	632.590	
13	281	Cabezales de hormigón armado clase VII para alcantarillas de caños	m3	23.318,40	69.955	
41	621	Suministro y colocación de defensas metálicas LT 267 o 269	ml	2.616,00	523.200	
152	2134	Suministro, transporte y elaboración de cemento asfáltico	ton	23.699,40	3.080.922	
152	2135	Suministro, transporte y elaboración de emulsion asfáltica	m3	23.861,40	310.198	
153	2136	Suministro, transporte y elaboración de diluido asfáltico	m3	27.364,00	355.732	
304	3037	Linea de eje aplicado en frío	m2	151,20	4.234	
304	3038	Linea de borde aplicado en frío	m2	151,20	49.896	
304	3039	Linea amarilla aplicada en frío	m2	151,20	33.264	
304	3040	Superficies aplicadas en frío	m2	416,40	4.164	
304	3042	Tachas instaladas	c/u	183,80	18.380	
17		Retiro y recolocación columnas de SSPP	c/u	6.953,80	55.630	
17	381	Retiro y recolocación de pórtico	c/u	48.141,20	48.141	
NUEVO PUENTE SOBRE CANAL ANDREONI						
29		Pilotes perforados	c/u	403.321,60	6.453.146	
27		Barrera de protección al tránsito tipo New Jersey	ml	6.473,70	1.165.266	
24		Baranda de ciclo vía	ml	4.385,00	394.650	
28		Hormigón armado para losa de tablero	m3	34.468,20	4.376.772	
24		Hormigón armado para vigas transversales	m3	44.617,90	1.572.335	
28		Hormigón armado y postensado para vigas principales	m3	47.558,50	19.919.402	
22		Apoyos de neopreno de 200mmx400mmx74mm	c/u	14.996,30	209.948	
5		Sobrepiso de puente y losas de acceso en mezcla asfáltica	m2	736,90	-	
24		Hormigón armado clase VII para pórticos de estribos	m3	38.218,90	2.929.096	
13		Hormigón armado para losa de acceso	m3	16.028,60	498.810	
24		HA clase VII para pilares y travesaños de pórticos	m3	46.480,00	3.699.808	
21		Juntas transversales	ml	10.589,60	194.849	
4		Tosca cemento para estribos	m3	1.737,40	1.883.342	
10		Revestimiento de cuartos de cono y taludes de estribos	m2	1.600,60	1.130.024	
2		Atagüa y accesos para pilotera	global	1.945.293,00	1.945.293	
1	1	Movilización	global	899.277,00	899.277	
2	71	Recuperación Ambiental	global	823.973,00	823.973	
17	382	Señalización de Obra	global	215.310,00	215.310	
82	915a	Automóvil sin chofer	veh.mes	38.000,00	456.000	
81	914b	Camioneta con chofer	veh.mes	98.000,00	1.176.000	
				\$básicos/mes		75.447.958

Handwritten signatures and initials, including a large stylized signature and several smaller initials, located at the bottom right of the document.

ANEXO II



PDT NUEVO PUENTE Y ACCESOS EN EL CANAL ANDREONI - RUTA 9

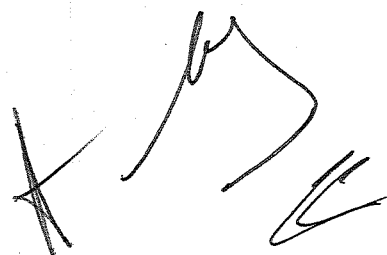
TECHINT S.A.C.I.

Grupo	Rubro	Descripción	Unidad	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12
ACCESOS AL NUEVO PUENTE															
2	8	Excavación no clasificada de préstamo	m3				0,4	0,4	0,2						
5	101	Mezcla asfáltica para base negra	ton								0,5	0,5			
5	102	Mezcla asfáltica para carpeta de rodadura	ton								0,5	0,5			
6	111	Ejecución de riego bituminoso de imprimación	m2							0,2	0,8				
6	114	Ejecución de tratamiento bituminoso doble	m2									0,5		1	
6	118	Ejecución de riego bituminoso de adherencia	m2									0,5			
7	133	Base granular CBR>80% (con transporte)	m3					0,4	0,4	0,2					
9	211	Agregados pétreos gruesos y medianos para tratamiento	m3											1	
13	273	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 50 cms (sin cabezales)	ml				1								
13	275	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 80 cms (sin cabezales)	ml				1								
13	281	Cabezales de hormigón armado clase VII para alcantarillas de caños	m3				1								1
41	621	Suministro y colocación de defensas metálicas LT 267 o 269	ml								0,5	0,5			
152	2134	Suministro, transporte y elaboración de cemento asfáltico	ton								0,4	0,3	0,3		
152	2135	Suministro, transporte y elaboración de emulsión asfáltica	m3							0,2	0,8				
153	2136	Suministro, transporte y elaboración de diluido asfáltico	m3												1
304	3037	Línea de eje aplicado en frío	m2												
304	3038	Línea de borde aplicado en frío	m2												1
304	3039	Línea amarilla aplicada en frío	m2												1
304	3040	Superficies aplicadas en frío	m2												1
304	3042	Tachas instaladas	c/u									0,5			1
17	381	Retiro y recolocación de SSP	c/u					0,5			0,5				
17	381	Retiro y recolocación de pórtico	c/u					1							
NUEVO PUENTE SOBRE CANAL ANDREONI															
29		Pilotes perforados	c/u	1											
27		Barrera de protección al tránsito tipo New Jersey	ml								0,4	0,6			
24		Baranda de ciclo vía	ml								0,6	0,4			
28		Hormigón armado para losa de tablero	m3						0,4	0,4	0,2				
24		Hormigón armado para vigas transversales	m3						0,7	0,3					
28		Hormigón armado y postensado para vigas principales	m3												
28		Hormigón armado de 200mmx400mmx74mm	m3	0,16	0,32	0,32		0,2							
22		Apoyos de neopreno de 200mmx400mmx74mm	c/u												1
5		Sobrepiso de puente y losas de acceso en mezcla asfáltica	m2		0,2	0,6	0,2								
24		Hormigón armado clase VII para pórticos de estribos	m3												1
13		Hormigón armado para losa de acceso	m3				0,4								
24		HA clase VII para pilares y travesaños de pórticos	m3				0,6								
21		Junta transversales	ml					0,6							
4		Tosca cemento para estribos	m2												0,4
10		Revestimiento de cuartos de cono y taludes de estribos	m2												0,4
2		Atagüa y accesos para pilotera	global	0,7											
1	1	Movilización	global	1											
2	71	Recuperación Ambiental	global	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,2
17	382	Señalización de Obra	global	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
82	915a	Automóvil sin chofer	veh.mes	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
81	914b	Camioneta con chofer	veh.mes	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

FLUJO DE FONDOS NUEVO PUENTE Y ACCESOS EN EL CANAL ANDREONI - RUTA 9

Grupo	Rubro	Descripción	Unidad	Precio Total	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12
ACCESOS AL NUEVO PUENTE																
2	8	Excavación no clasificada de préstamo	m3	4,956.620				1,982.648	1,982.648	991.324						
5	101	Mezcla asfáltica para base negra	ton	2,948.594								1,474.297	1,474.297			
5	102	Mezcla asfáltica para carpeta de rodadura	ton	3,484.118							59.913	239.651	1,742.059			
6	111	Ejecución de riego bituminoso de imprimación	m2	299.564										406.999		
6	114	Ejecución de tratamiento bituminoso doble	m2	406.999												
6	118	Ejecución de riego bituminoso de adherencia	m2	225.848												
6	118	Ejecución de riego bituminoso de adherencia	m2	225.848												
7	133	Base granular CBR<80% (con transporte)	m3	7,361.550					2,944.620	2,944.620	1,472.310					
9	211	Agregados pétreos gruesos y medianos para tratamiento	m3	228.735										223.735		
13	273	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 50 cms (sin cabezales)	ml	411.323				411.323								
13	275	Alcantarilla de caños de hormigón armado de 80 cms (sin cabezales)	ml	632.590				632.590								
13	281	Cabezales de hormigón armado clase VII para alcantarillas de caños	m3	69.955				69.955								
41	621	Suministro y colocación de defensas metálicas LT 267 o 269	ml	523.200												
152	2134	Suministro, transporte y elaboración de cemento asfáltico	ton	3,080.922									1,540.461	1,540.461		
152	2135	Suministro, transporte y elaboración de emulsión asfáltica	m3	310.198									124.079	93.059		
153	2136	Suministro, transporte y elaboración de fluido asfáltico	m3	355.732									284.586			
304	3037	Línea de eje aplicado en frío	m2	4.234											4.234	
304	3038	Línea de borde aplicado en frío	m2	49.896											49.896	
304	3039	Línea amarilla aplicada en frío	m2	33.264											33.264	
304	3040	Superficies aplicadas en frío	m2	4.164											4.164	
304	3042	Tachas instaladas	c/u	18.380											18.380	
17	381	Retiro y recolocación de SSP	c/u	55.630				27.815								
17	381	Retiro y recolocación de pórtico	c/u	48.141				48.141								
NUEVO PUENTE SOBRE CANAL ANDREONI																
29		Pilotes perforados	c/u	6,453.146												
27		Barrera de protección al tránsito tipo New Jersey	ml	1,165.266												
24		Baranda de ciclo via	ml	394.650												
28		Hormigón armado para losa de tablero	m3	4,376.772												
24		Hormigón armado para vigas transversales	m3	1,572.335												
28		Hormigón armado y postensado para vigas principales	m3	19,919.402												
22		Apoyos de neopreno de 200mmx400mmx74mm	c/u	209.948												
5		Sobrepiso de puente y losas de acceso en mezcla asfáltica	m2	2,929.096												
24		Hormigón armado clase VII para pórticos de estribos	m3	498.810												
13		Hormigón armado para losa de acceso	m3	3,699.808												
24		HA clase VII para pilares y travesaños de pórticos	m3	194.849												
21		Juntas transversales	ml	1,883.342												
4		Tosca cemento para estribos	m3	1,130.005												
10		Revestimiento de cuartos de cono y taludes de estribos	m2	1,361.705												
2		Atalaya y accesos para pilotera	global	1,945.293												
				31,001,955	6,960,028	10,851,551	3,405,695	3,405,695	3,983,880	2,851,343	2,221,408	2,248,068	1,779,615	1,480,195	0	0
1		Movilización	global	899.277												
2	71	Recuperación Ambiental	global	823.973												
17	382	Señalización de Obra	global	215.310												
82	915a	Automóvil sin chofer	veh.mes	456.000												
81	914b	Camioneta con chofer	veh.mes	1,176.000												
				1,777,959	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662	178,662
\$Básicos/mes				75,447,958	12,079,894	7,138,690	10,530,213	6,756,831	9,089,810	6,965,949	4,004,440	8,140,602	6,921,077	2,302,649	951,875	565,929

ANEXO III

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop followed by a few short, connected strokes.A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'A' shape with a horizontal line through it, followed by several curved and straight strokes.



TECHINT
Ingeniería y Construcción

La Cumparsita 1373 Piso 7
CP.11200, Montevideo
Uruguay

(00598) 2901 9091 Tel
(00598) 2901 8008 Fax

techinturuguay@techint.com.uy

Descripción de las obras:

Puente

Se trata de un puente esbelto de 90 ml de luz formado por dos tramos exteriores de 29 ml y uno central de 32 ml (con el fin de interferir lo mínimo posible con la sección principal del canal).

El tablero cuenta con una ciclovía de 2 ml ubicada aguas abajo y la calzada prevé un espacio libre de 9,2 ml, las defensas del tránsito serán del tipo New Jersey de ancho 40 cm.

Solución estructural: tablero de 4 vigas prefabricadas (H 1,63 m) postensadas con tres nervios de 15 cables de 0,6 " cada uno.

Los pórticos intermedios serán constituídos por 4 pilares pilote que se monolitizan con el tablero en viga transversal de apoyos intermedios, generando una suerte de empotramiento a los esbeltos pilares.

Los estribos serán vigas muy rígidas con parejas de cabezales de pilotes.

Llevarán cuartos de cono con revestimiento de hormigón armado.

Para el montaje de las vigas se utilizarán grúas de gran porte ante la imposibilidad de cerrar el cauce principal con ataguía.

El eje del nuevo puente estará 11,1 ml aguas abajo del actual para no interferir con la circulación y una vez habilitado el nuevo puente se procederá a la demolición del actual.

Accesos

Se realiza una variante del trazado existente (hacia la costa oceánica) luego de la curva de acceso al Hotel Parque Oceánico y hasta la rotonda existente en La Coronilla, la longitud estimada de la misma es de 1 km .

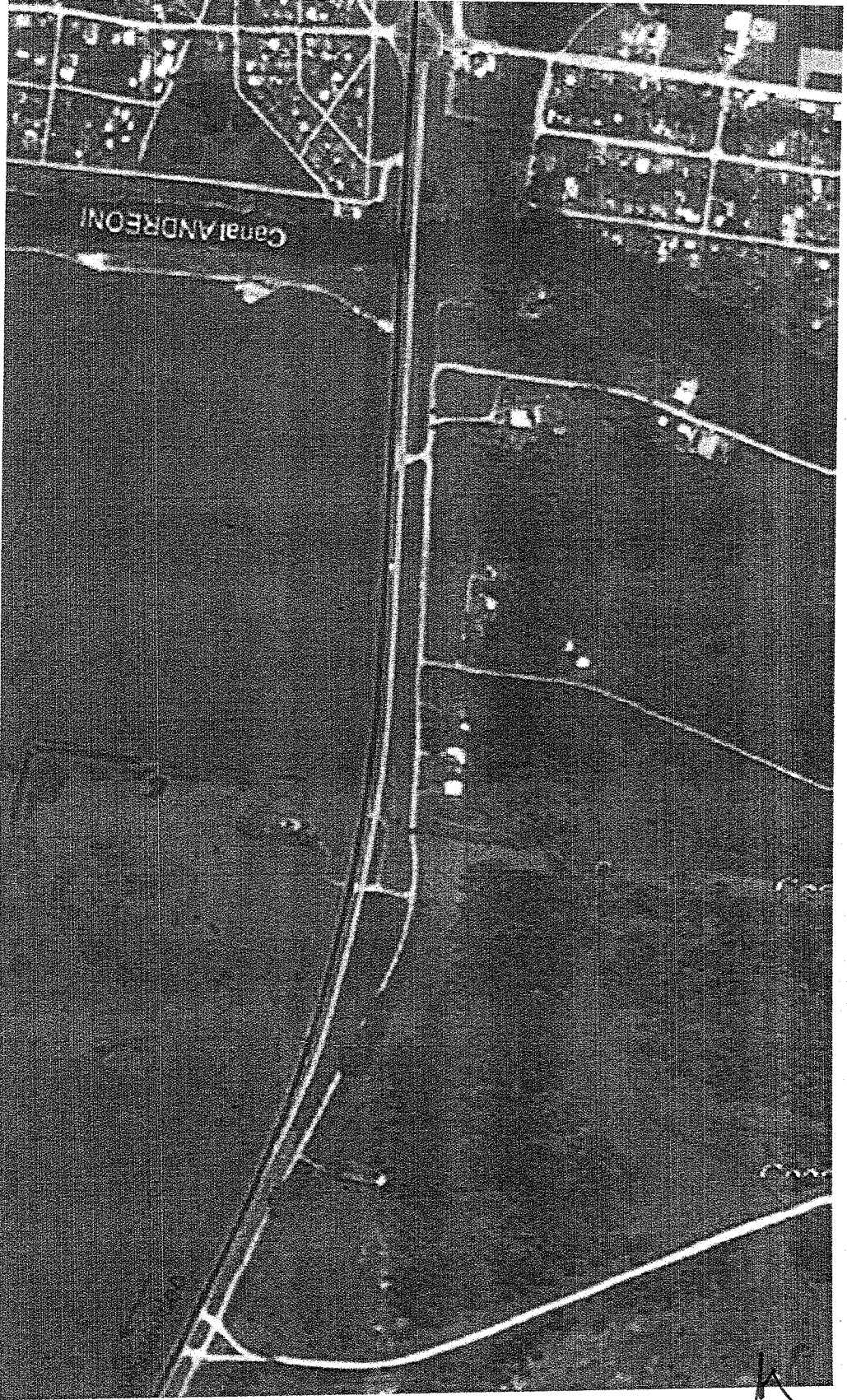
Se procede al retiro de la tierra vegetal acopiando la misma para luego revestir taludes y se construye un terraplén con material de préstamo de la zona, que será coronado luego con un paquete de 45 cm de tosca y 12 cm de mezcla asfáltica.

Las banquetas serán finalizadas en tratamiento bituminoso doble.

La cota del nuevo pavimento nunca será inferior a la del existente actualmente y se realizarán las canalizaciones de pluviales pertinentes.

Se realizará el proyecto de señalización correspondiente acorde a la normativa vigente y se realizarán pinturas aplicadas en frío.

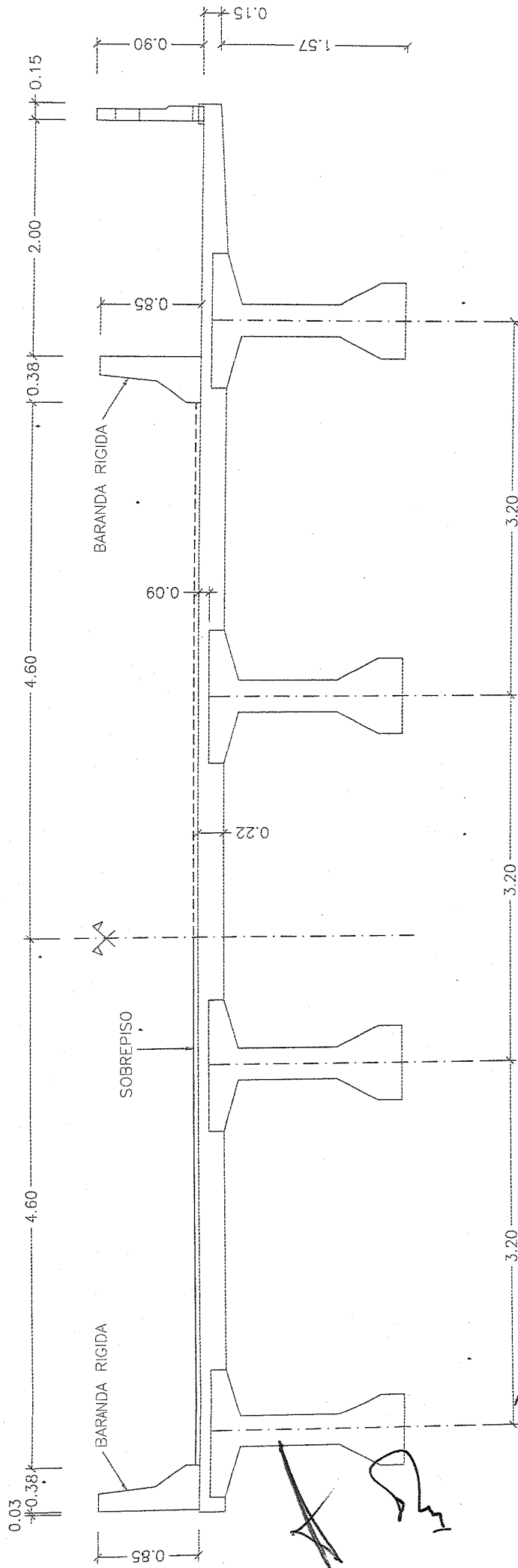
Nuevo Puente en Ruta 9 sobre Canal Andreoni - PLANTA DE ACCESOS



[Handwritten signature]

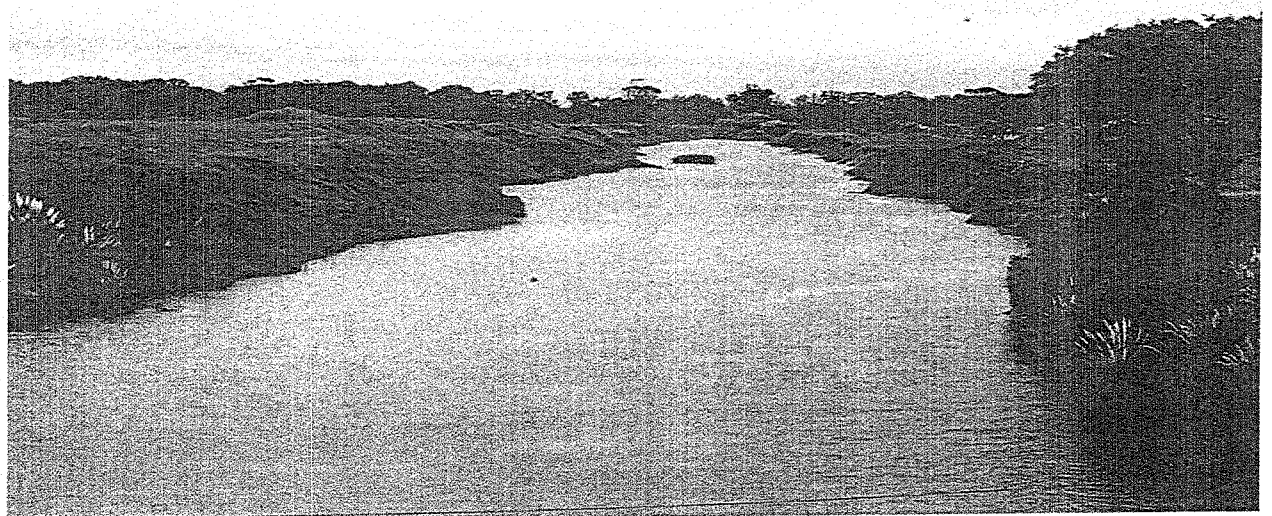
SECCION TRANSVERSAL DEL TABLERO (GEOMETRIA)

ESCALA 1:50



PUENTE SOBRE CANAL ANDREONI RN N° 9
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS



IATASA
INGENIERÍA

[Handwritten signatures]

PUENTE SOBRE CANAL ANDREONI RN N° 9
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS 3

INFORMACIÓN RECIBIDA 3

ANÁLISIS EFECTUADOS 4

 DETERMINACIÓN DE LEY ALTURA – CAUDAL (H-Q) 5

 SERIES DE CAUDALES A PARTIR DE LECTURAS DE ESCALA 5

 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 5

 MODELO HIDRODINÁMICO Y ANÁLISIS DE PROCESOS DE EROSIÓN 6

CONCLUSIONES 7

RECOMENDACIONES 8

ANEXOS 9

PLANOS 44

Handwritten signatures and initials, including a large stylized signature on the right and several smaller ones on the left.

OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS

La firma Techint solicitó a la firma IATASA, el análisis del funcionamiento hidráulico de la actual obra de cruce de la RNNº 9 y el Canal Andreoni. Se trata de un puente que ha sufrido serias afectaciones, producidas por erosiones registradas en ocasión de crecidas de importancia. El mismo ha sido sometido a una serie de acciones tendientes a tratar de mejorar su estabilidad general.

Posteriormente, se solicitó complementar dicho análisis con el estudio del funcionamiento hidráulico de una eventual obra de reemplazo del puente existente.

En este contexto, y a partir de información básica aportada por la firma Techint, es que se han desarrollado los estudios que se presentan a continuación. Los mismos han tenido por objetivo aportar, en forma cuantitativa, elementos de juicio tendientes a verificar, o no, la conveniencia del reemplazo del puente existente por uno de mayor luz.

INFORMACIÓN RECIBIDA

Tal como se indicara anteriormente, la firma Techint aportó la información necesaria para la realización de los estudios, la misma consistió, básicamente, en: lecturas de escala, aforos, perfiles transversales del canal y características de los suelos en el mismo.

A continuación se detalla la información recibida por IATASA:

1. PROYECTO VALENTINES – Minera Aratirí – ANEXO C – Descripción del Proyecto, “Estudio de la factibilidad de uso del canal Andreoni” – Septiembre de 2011. En dicho Informe, se estudia el comportamiento actual y futuro del canal Andreoni con la finalidad de conocer los caudales factibles de ser extraídos del mismo por la minera Aratirí, con distintos objetivos. Se analizaron las series históricas de niveles y caudales provistas por DINAGUA para seis Estaciones Hidrométricas, dos de ellas corresponden a las Estaciones 149.0 y 149.1 ubicadas sobre el canal Andreoni.
2. Planos de Encofrados y Armaduras del Puente actual de la Ruta Nacional Nº 9, en su primera etapa y con su posterior ampliación – Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) – Dirección Nacional de Vialidad.
3. “Perforaciones en Canal Andreoni”- Dirección Nacional de Vialidad – Octubre de 1969. Libreta de campaña donde se presentan 4 perforaciones, indicando los distintos estratos atravesados con sus respectivas profundidades, sin cuantificación de parámetros.

4. Ensayo de Suelo en la zona de emplazamiento del Puente Existente – Techint de Uruguay. Se ensayó una muestra, correspondiente a una arenisca limosa, obteniéndose la correspondiente curva granulométrica del material.
5. Lecturas de escala de las Estaciones 149.0 (“Canal Andreoni – Ruta 9”) y 149.1 (“Canal Andreoni”) – DINAGUA. En la estación 149.0 existen registros de nivel diario desde el 23 de enero de 1981 hasta el 8 de marzo de 1989. La Estación 149.1 posee registros de nivel a partir del 11 de septiembre de 1987 y hasta el 15 de junio de 2003.
6. Aforos en la Estación 149.1 – DINAGUA. Serie de caudales registrados entre el 12 de septiembre de 1987 (primer dato) y el 21 de noviembre de 2001. Asimismo, para dicha estación, se dispone de información correspondiente a un aforo adicional con fecha 12 de agosto de 2014.
7. Aforos en una sección ubicada unos 50 metros aguas arriba del puente actual - DINAGUA para la Dirección Nacional de Vialidad. Dos aforos líquidos con fechas 26 de abril de 2016 (caudal de 358.75 m³/s) y 11 de mayo de 2016 (83.20 m³/s).
8. Perfiles Batimétricos – Techint de Uruguay. La información disponible comprende diez perfiles, con equidistancia de 50 metros, a lo largo de un tramo del canal Andreoni comprendido entre unos 250 metros aguas arriba del puente existente (Perfiles Batimétricos 1 a 6) y unos 150 metros aguas abajo del mismo (Perfiles Batimétricos 7 a 10). También se dispone de un perfil en el eje del puente existente (Perfil 0). Dicha información se complementa con un relevamiento topográfico de las márgenes del canal Andreoni en el tramo de canal donde se realizaron las batimetrías.
9. Fotografías de la zona de estudio provistas por Techint de Uruguay, y por IATASA obtenidas en su visita de reconocimiento del día 11 de mayo de 2016.

ANÁLISIS EFECTUADOS

Los análisis efectuados a partir de la información básica disponible han sido:

- Determinación de leyes altura – caudal (h-Q), a partir de los aforos disponibles.
- Generación de series continuas de caudales, a partir de lecturas de escala y leyes h-Q establecidas.
- Análisis estadístico de series de caudales máximos anuales.
- Modelación hidrodinámica del canal para dos situaciones: estados actual (con puente existente) y futuro (con puente de reemplazo).
- Análisis de procesos físicos de erosión para las dos situaciones indicadas en el punto anterior.

A continuación se detallan los análisis efectuados.

Determinación de ley altura – caudal (h-Q)

Se procedió a verificar la curva altura – caudal (h-Q), presentada en el “Estudio de factibilidad del uso del Canal Andreoni”. Este documento fue aportado por la Dirección Nacional de Vialidad durante la visita realizada, por IATASA, a la zona de estudio, el día miércoles 11/05/2016. Para la realización de esta tarea se contó con los datos de la estación 149.1 (Canal Andreoni). Tal como se indicara anteriormente, dicha información fue brindada por la firma Techint.

La verificación consistió en el análisis de los datos básicos, a partir de la representación gráfica de los mismos (aforos disponibles) y el ensayo de diferentes ajustes mediante leyes por rangos de altura. En la Figura 1 es posible observar la gran dispersión que existe en la relación h-Q. Se considera que dicha dispersión responde a la evolución en el tiempo de los procesos físicos de erosión en el cauce del canal. A la luz de este análisis, se decidió efectuar un ajuste de curvas h-Q teniendo en cuenta las variaciones de la capacidad de conducción a lo largo del tiempo. En la Figura 2 se presentan los ajustes realizados, en tanto que en la Tabla 1 se indican las ecuaciones correspondientes a cada una de las curvas y el período de validez de las mismas.

Series de Caudales a partir de Lecturas de Escala

Una vez establecidas las curvas h-Q atribuibles a distintos períodos, se procedió a generar series de caudales a partir de los registros hidrométricos de las estaciones 149.0 (Canal Andreoni Puente Ruta 9) y 149.1 (Canal Andreoni). En el primer caso (estación 149.0) se contó con registros hidrométricos en el período 1981/89, en tanto que en el segundo (estación 149.1) fue en el período 1987/2003.

La transformación de altura hidrométrica en caudal siempre respetó el uso de la curva h-Q considerada válida para la fecha de registro.

Análisis Estadístico

A partir de las series de caudales generadas, se establecieron series de caudales máximos anuales y series parciales de excedencia anual, tanto para la estación 149.0 como para la estación 149.1. En el primer caso, la serie se compuso de nueve valores y en el segundo de diez y siete (un valor por cada año de registro). Desde un punto de vista estadístico resulta claro que la longitud de ambas series es corta, lo que limita las extrapolaciones que puedan ser realizadas en forma confiable; por tal motivo se decidió combinar las series, ya que la distancia entre las estaciones es mínima como para presentar inconsistencias en los valores de caudales. En otras palabras, se trata del registro de dos estaciones que por cercanía resulta como un único registro continuo.

Esta nueva serie (combinada) resultó de una longitud de 23 años, valor que resulta similar al mínimo aconsejado para extrapolar hasta unos 100 ó 200 años de recurrencia (longitud de la serie de más de 30 años de datos).

La serie combinada de valores de caudales máximos fue ajustada mediante la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel).

En la Tabla 2 y en la Figura 3 se presenta el ajuste realizado. Es posible observar que al evento del 26 abril de 2016 (358.75 m³/s aforados en una sección ubicada 50 metros aguas arriba del puente existente) le corresponde, según el ajuste, un período de retorno del orden de los cuarenta años. En tanto que los caudales pico atribuidos a las recurrencias de 100 y 200 años (valores usualmente utilizados en el diseño y verificación de puentes), les corresponden 430 y 480 m³/s respectivamente.

Modelo Hidrodinámico y Análisis de Procesos de Erosión

Con el objetivo de cuantificar las condiciones de escurrimiento para distintos caudales, se efectuaron dos modelaciones hidrodinámicas del tramo de canal en el que se desarrollaron los estudios. La primera de ellas correspondió a la geometría actual del cauce y el puente existente (de unos 55 metros de luz). La segunda, fue considerando, de acuerdo con lo solicitado por Techint, un puente de 90 metros de tres luces (central de 32 metros y laterales de 29 metros) ubicado unos ocho metros aguas abajo del existente; asimismo se modeló con las secciones del canal con el perfilado necesario para ubicar la nueva obra (ver Plano 10516-PL-HI-PM001).

La modelación se realizó a partir de los perfiles transversales (topo – batimétricos) relevado por Techint en una longitud aproximada de 415 metros (unos 257 metros hacia aguas arriba del puente existente y unos 158 metros hacia aguas abajo – Ver Plano 10516-PL-HI-PT001).

La calibración del modelo fue realizada con la geometría actual y con las condiciones del escurrimiento correspondientes al 26 de abril de 2016 (caudal y tirante). Los parámetros de ajuste fueron el coeficiente de rugosidad de Manning y la condición de contorno aguas abajo del tramo modelado.

Con respecto al valor del coeficiente de Manning necesario para reproducir correctamente las condiciones de escurrimiento del día 26 de abril de 2016 ($n = 0.032$), debe señalarse que el mismo resulta similar al que se hubiese obtenido, en forma teórica, mediante la aplicación de la metodología propuesta por el Soil Conservation Service de los EEUU en la publicación "*Guide for selecting roughness coefficient n values for channels*". En dicha metodología se consideran cinco valores básicos de n (n_0 : características del canal, n_1 : grado de irregularidad, n_2 : variación de la sección transversal, n_3 : obstrucciones y n_4 : cantidad y tipo de vegetación), afectados por un factor (m_5) que considera el grado de sinuosidad.

Los resultados de la calibración se observan en la Figura 4.

Se efectuaron dos corridas para cada una de las geometrías consideradas (estado actual y puente de 90 metros de longitud), las mismas correspondieron a caudales de 100 y 200 años de recurrencia (430 y 480 m³/s, respectivamente) estimados a partir de los estudios estadísticos realizados. Los resultados se presentan en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

Con los resultados de la modelación hidrodinámica (velocidades, tirantes y tensiones de corte del escurrimiento), se estimaron las erosiones general y localizada en pilas y estribos para ambos puentes (existente y propuesto) ante el paso de crecidas con caudales pico correspondientes a 100 y 200 años de periodo de retorno.

Las estimaciones de las profundidades de erosión fueron realizadas mediante las siguientes metodologías:

- Erosión general: Método de L. L. Litchvan – Lebediev
- Erosión local en pilas: Método de Yaroslavtziev
- Erosión local en estribos: Método de K.F. Artamonov

En todos los casos, y a partir de información proporcionada por Techint (ver puntos 3 y 4 en "Información Recibida"), se consideró que el material del lecho corresponde a un suelo no cohesivo de diámetro medio 0.1 mm.

En las Tablas 3 a 6 y en las Figuras 9 a 12 se presentan las estimaciones realizadas.

CONCLUSIONES

Los análisis efectuados permiten concluir que:

1. Ante el eventual paso de una crecida de 100 años de recurrencia ($Q = 430 \text{ m}^3/\text{s}$) sería esperable que se produjesen, en las proximidades de las denominadas en este estudio Pilas 1 y 2, profundidades de erosión del orden de los 4.70 metros. Debe tenerse en cuenta que no es posible afirmar que las mismas no podrían afectar seriamente la estabilidad de los pilotes, ya que se desconoce la longitud de los mismos y no ha sido posible establecerla mediante ensayos. Aquí es conveniente señalar que, según comentarios recibidos durante la visita de reconocimiento oportunamente realizada por IATASA, los pilotes correspondientes a la ampliación del puente existente fueron hincados a rechazo, pero la longitud embebida resultó menor que la indicada en los planos. Por otra parte, se han manifestado algunos indicios que marcarían que la longitud actualmente embebida de los pilotes no resultaría suficiente como para resistir un evento como el señalado. El valor de profundidad de erosión se incrementa a unos 5.00 metros al considerar el evento de 200 años de recurrencia ($Q = 480 \text{ m}^3/\text{s}$). Cabe señalar que el riesgo de que se produzcan crecidas como las señaladas aumenta con el período de vida útil considerado (n) de acuerdo con los siguientes valores:

Recurrencia (años)	Riesgo (%)			
	n = 2 años	n = 5 años	n = 10 años	n = 25 años
100	2	5	10	22
200	1	2.5	5	12

Es decir que, por ejemplo, si se mantuviese el puente actual por un período de 5 años, se correría un riesgo del 5% de que se presentase la crecida de 100 años de recurrencia en dicho período.

2. En el caso del puente de reemplazo propuesto, los valores de profundidad de erosión disminuyen sensiblemente, resultando del orden de los 0.75 y 0.80 metros para los eventos de 100 y 200 años de recurrencia, respectivamente. Estos valores no pondrían en riesgo la estabilidad de la nueva obra a proyectar, en la medida de que se hinquen los pilotes en una longitud suficiente.
3. De acuerdo con lo señalado anteriormente, parece razonable reemplazar el puente existente por el propuesto por Techint.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un nuevo relevamiento de perfiles transversales. Este relevamiento debería ser efectuado en una única operación (topográfica y batimétrica) y con una densidad acorde a las necesidades del proyecto ejecutivo del nuevo puente.
2. Efectuar una investigación geotécnica que permita definir con mayor precisión las características de los materiales del lecho y de los taludes en el tramo analizado.
3. Efectuar, a partir de los datos anteriores, una nueva modelación y cálculo de erosiones a nivel de proyecto ejecutivo, una vez definidas las características geométricas del nuevo puente que surjan del proyecto estructural y vial.
4. Analizar la estabilidad de las márgenes en las proximidades de la nueva obra vial y la eventual necesidad de estabilizar y proteger las mismas.

20
16

ANEXOS

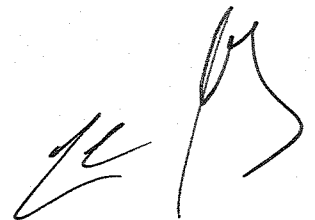
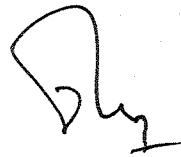
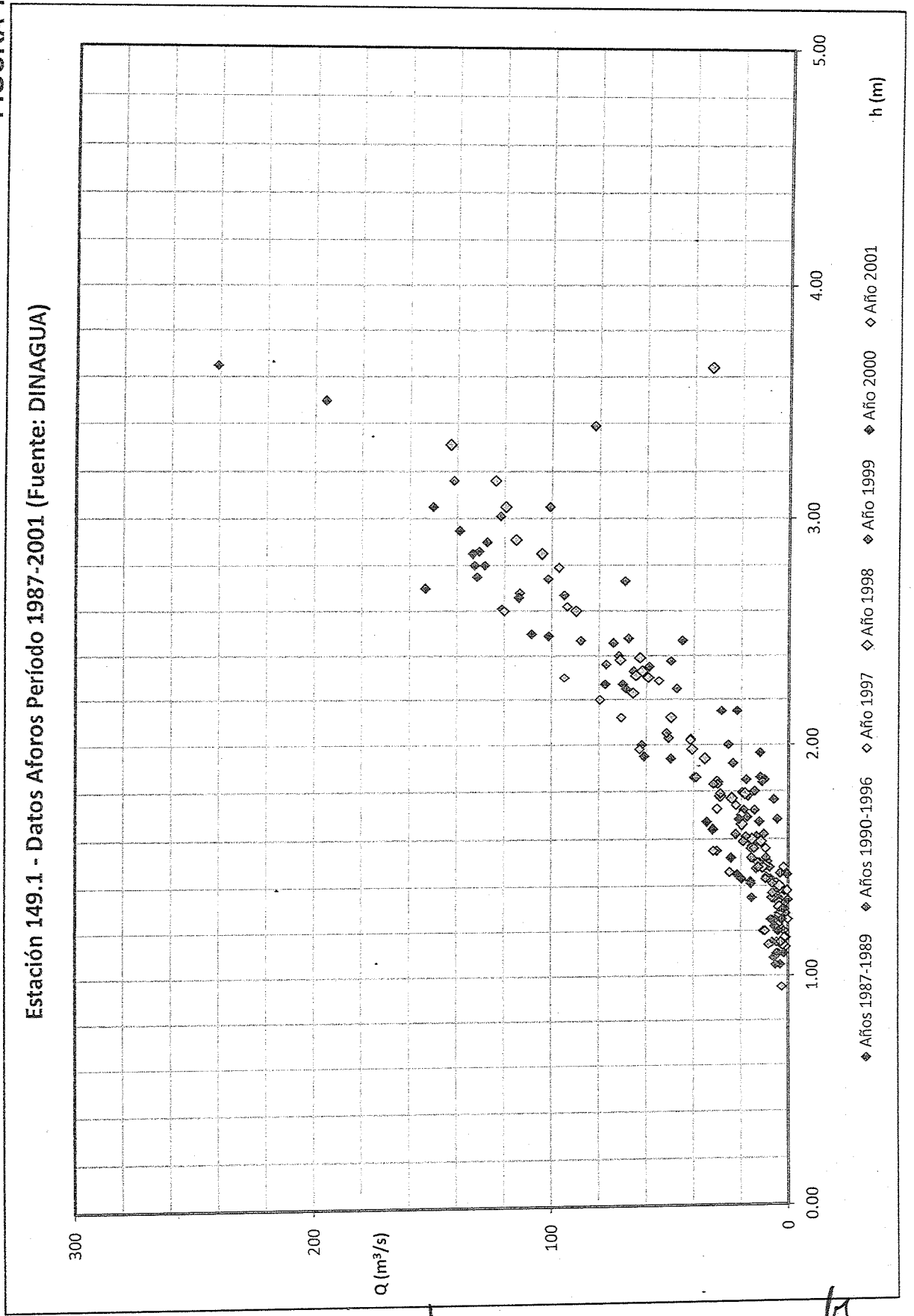


FIGURA 1

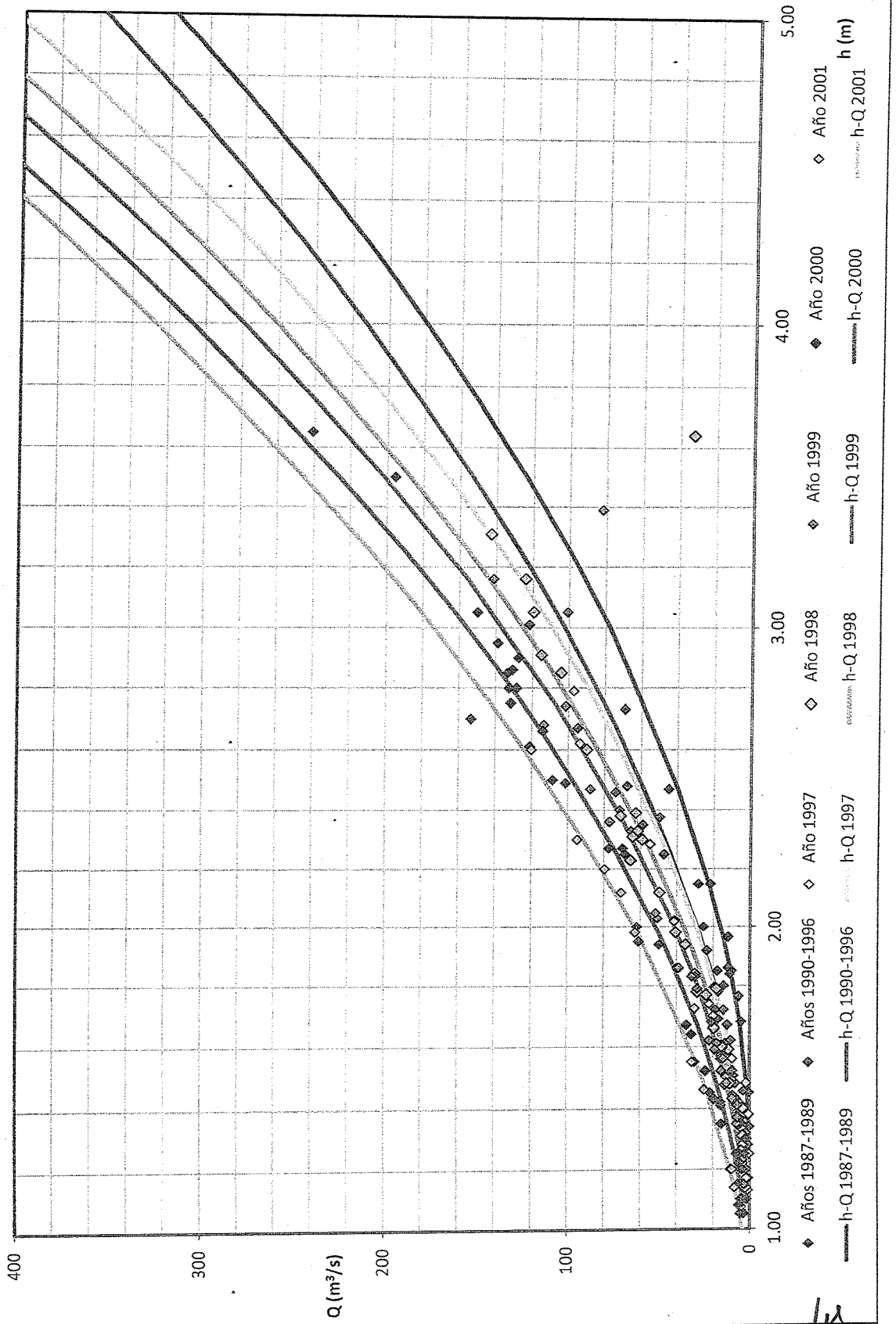
Estación 149.1 - Datos Aforos Período 1987-2001 (Fuente: DINAGUA)



[Handwritten signatures and marks]

FIGURA 2

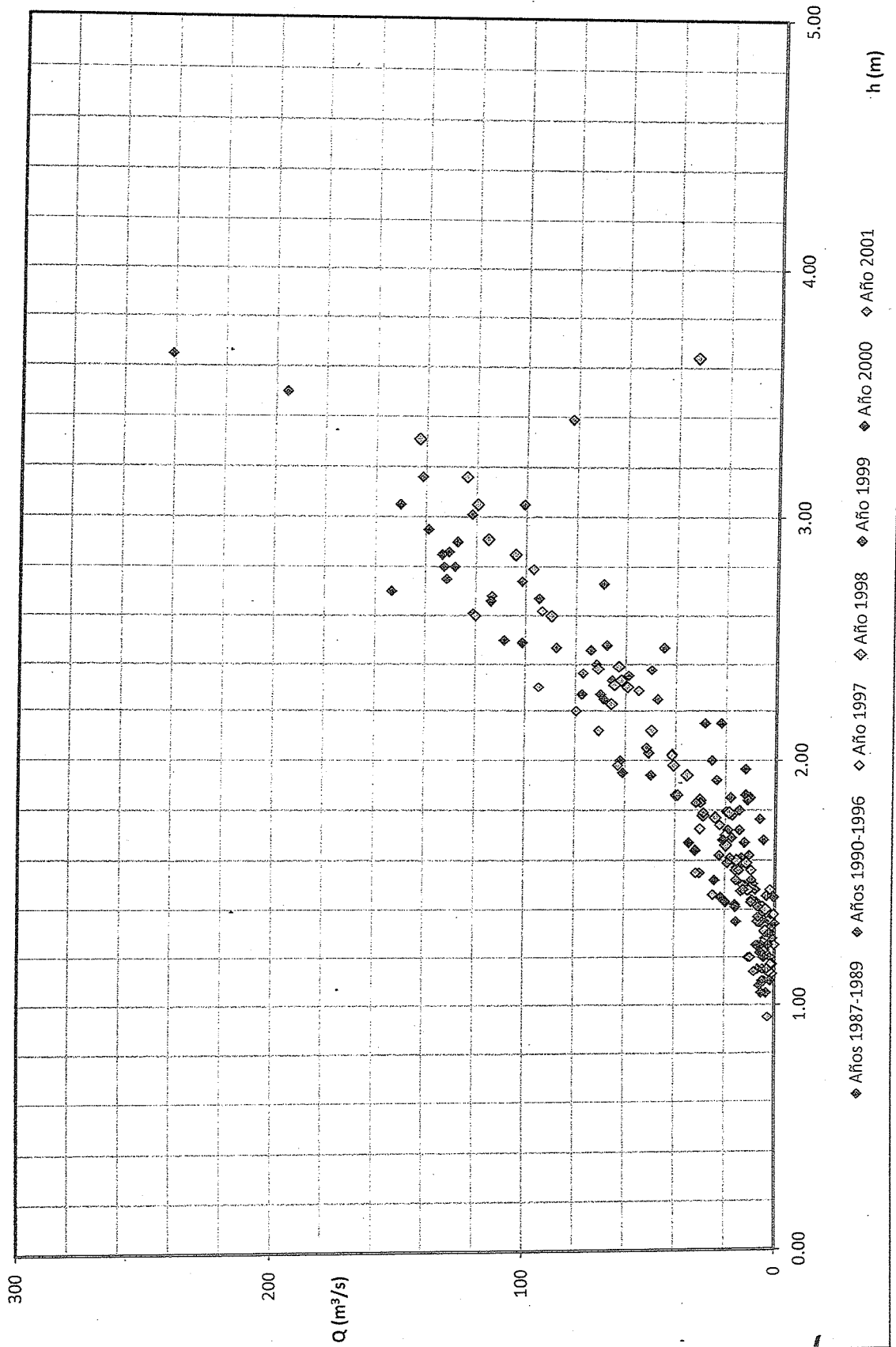
Leyes h-Q - Estación 149.1 - Datos Aforos Período 1987-2001 (Fuente: DINAGUA)



[Handwritten signatures and marks]

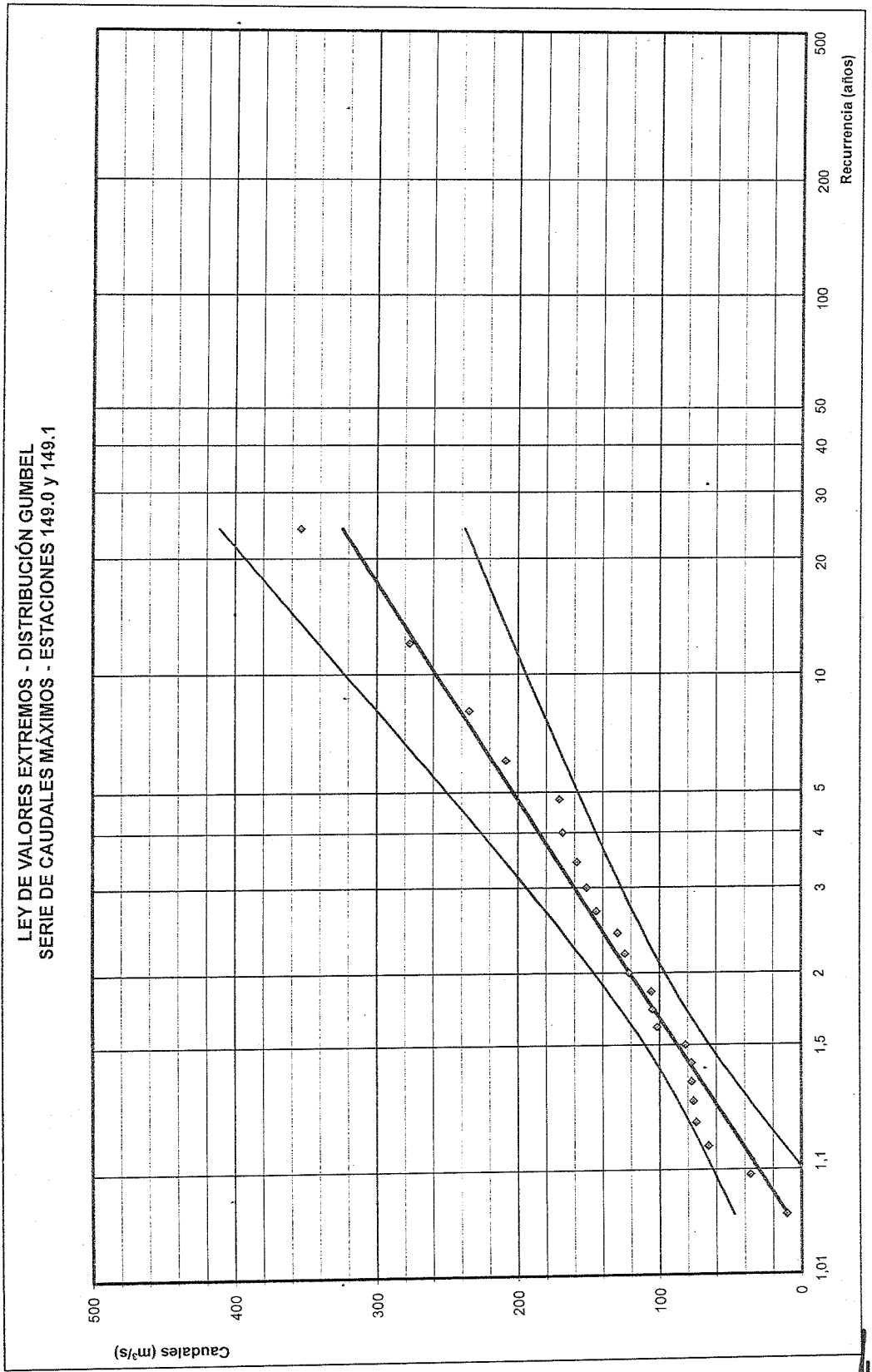
FIGURA 1

Estación 149.1 - Datos Aforos Período 1987-2001 (Fuente: DINAGUA)



~~AS~~ *AS* *AS*

FIGURA 3



[Handwritten signatures and marks]

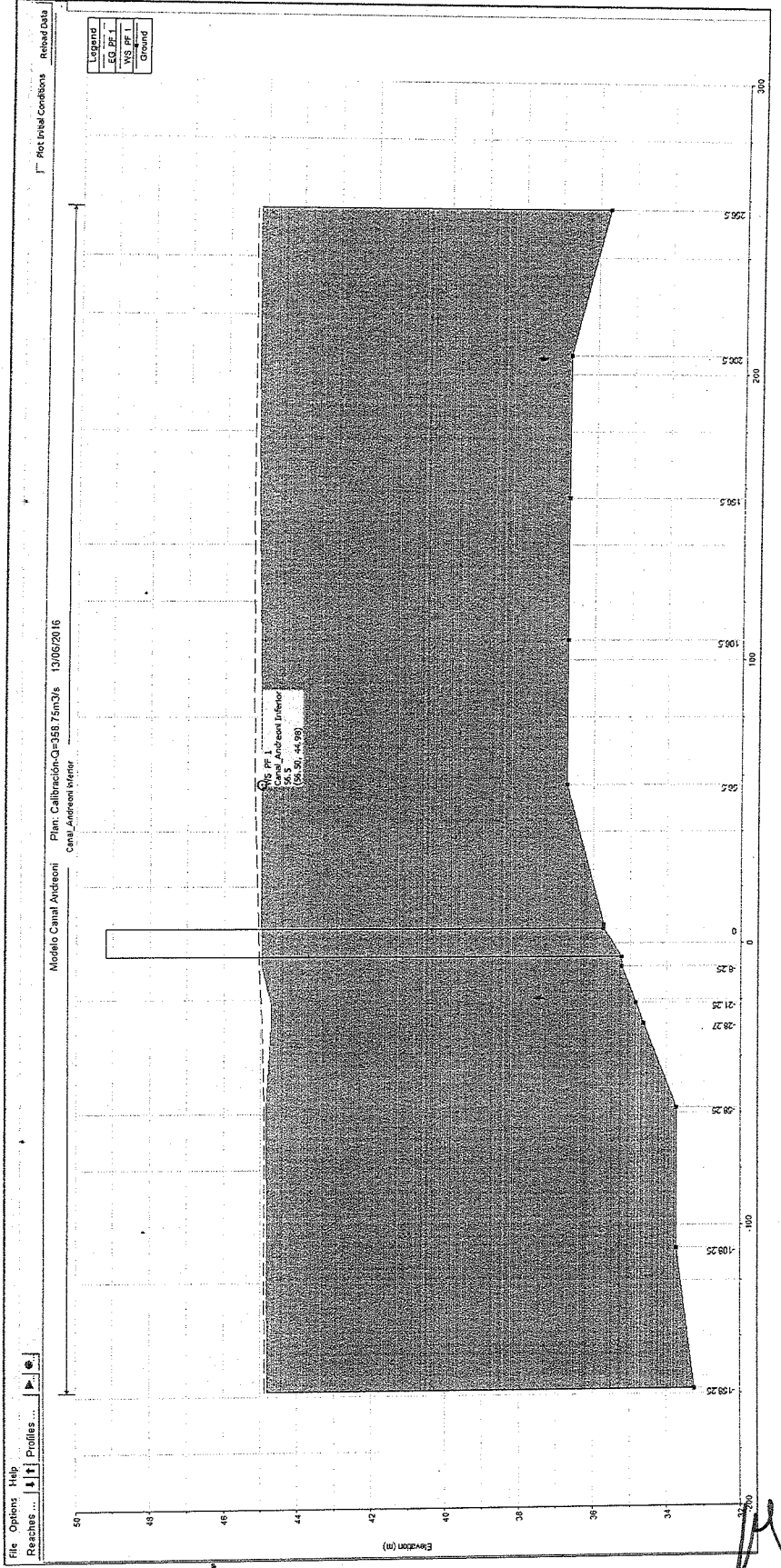
FIGURA 4

PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 MODELO HIDRODINÁMICO - SITUACIÓN ACTUAL

Calibración - Aforo del 26/04/2016

Sección	Caudal (m ³ /s)	Nivel (m)	Ancho Superficial (m)	Sección Hidráulica (m ²)	Velocidad Media (m/s)
Aforo del 26/04/2016 (50 metros aguas arriba del Puente Existente)	358.75	45.05	42.00	196.51	1.82
Sección de Progresiva 56,50 del Modelo Hidrodinámico	358.75	44.98	45.28	182.73	1.96

Modelo Hidrodinámico Estado Actual - Perfil Longitudinal de la Superficie Libre para el Caudal de Calibración



[Handwritten signatures and marks]

FIGURA 5

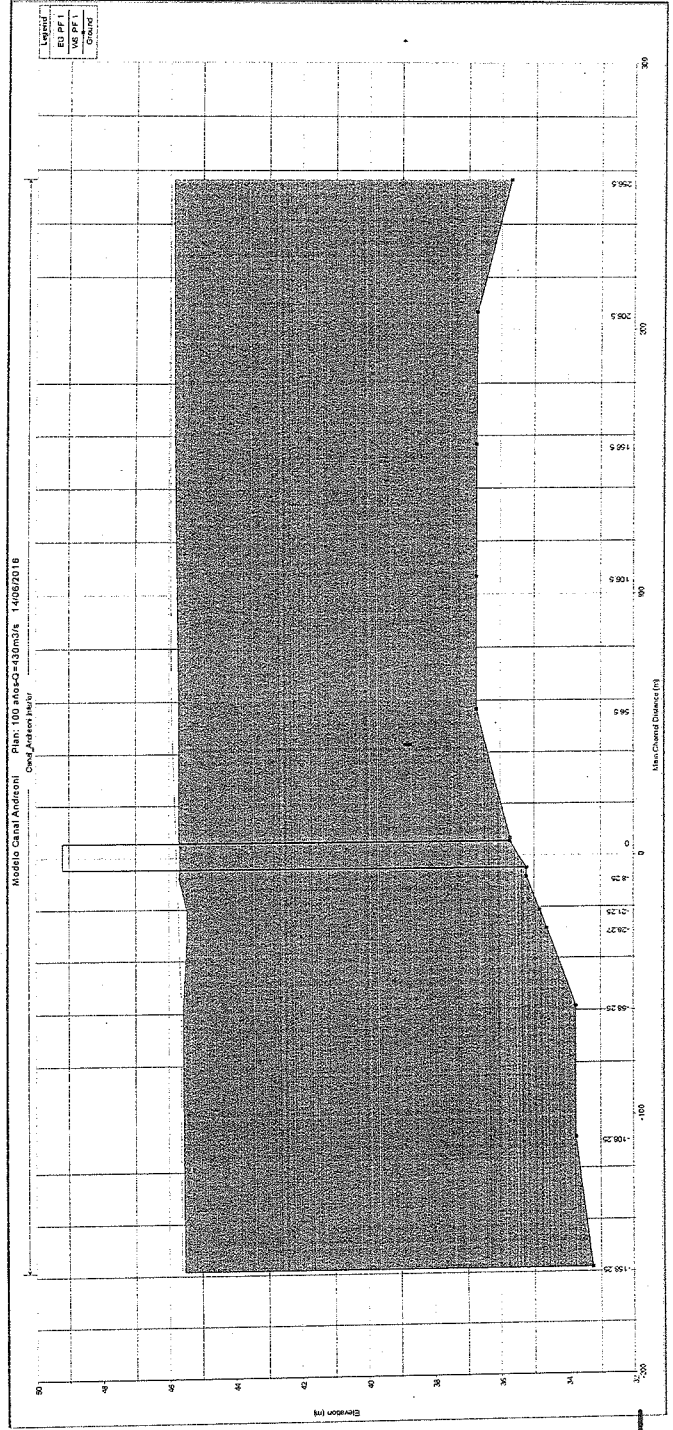
PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 MODELO HIDRODINÁMICO - SITUACIÓN ACTUAL

Recurrencia 100 años

RESUMEN SALIDA DEL MODELO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Inferior	256.5	PF 1	430.00	35.73	45.86	40.84	45.98	0.000186	1.56	305.02	55.88	0.18
Inferior	206.5	PF 1	430.00	36.73	45.85	40.69	45.97	0.000168	1.54	309.70	55.80	0.18
Inferior	156.5	PF 1	430.00	36.73	45.81	41.37	45.95	0.000270	1.73	268.54	52.42	0.22
Inferior	106.5	PF 1	430.00	36.73	45.74	41.69	45.93	0.000471	1.98	227.99	50.16	0.27
Inferior	56.5	PF 1	430.00	36.73	45.69	42.00	45.90	0.000544	2.08	215.99	48.13	0.29
Inferior	6.5	PF 1	430.00	35.73	45.70	39.66	45.79	0.000161	1.39	333.61	70.20	0.15
Inferior	0	Bridge										
Inferior	-8.25	PF 1	430.00	35.23	45.67	39.53	45.76	0.000146	1.30	343.43	58.83	0.14
Inferior	-21.25	PF 1	430.00	34.84	45.43	41.84	45.70	0.000750	2.37	194.98	43.04	0.31
Inferior	-28.27	PF 1	430.00	34.63	45.43	41.56	45.69	0.000712	2.33	198.20	43.05	0.30
Inferior	-58.25	PF 1	430.00	33.73	45.55	40.55	45.63	0.000166	1.26	358.46	60.34	0.15
Inferior	-108.25	PF 1	430.00	33.73	45.54	40.59	45.62	0.000157	1.32	348.20	59.05	0.16
Inferior	-158.25	PF 1	430.00	33.23	45.51	40.49	45.61	0.000180	1.42	319.19	52.66	0.17

PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE LIBRE



[Handwritten signatures and marks]

PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 MODELO HIDRODINÁMICO - SITUACIÓN ACTUAL

Recurrencia 200 años

RESUMEN SALIDA DEL MODELO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Inferior	256.5	PF 1	480.00	35.73	46.32	41.04	46.45	0.000185	1.62	331.37	58.21	0.18
Inferior	206.5	PF 1	480.00	36.73	46.32	40.89	46.44	0.000168	1.60	335.99	58.12	0.18
Inferior	156.5	PF 1	480.00	36.73	46.27	41.62	46.42	0.000262	1.78	293.18	54.30	0.21
Inferior	106.5	PF 1	480.00	36.73	46.20	41.94	46.40	0.000441	2.02	251.77	52.29	0.26
Inferior	56.5	PF 1	480.00	36.73	46.15	42.26	46.38	0.000503	2.12	238.86	50.00	0.28
Inferior	6.5	PF 1	480.00	35.73	46.17	39.89	46.27	0.000163	1.44	359.11	82.60	0.16
Inferior	0	Bridge										
Inferior	-8.25	PF 1	480.00	35.23	46.14	39.75	46.23	0.000150	1.37	366.42	63.27	0.15
Inferior	-21.25	PF 1	480.00	34.84	45.90	42.64	46.17	0.000701	2.41	215.45	44.53	0.30
Inferior	-28.27	PF 1	480.00	34.63	45.90	42.52	46.10	0.000669	2.37	218.66	44.53	0.30
Inferior	-58.25	PF 1	480.00	33.73	45.02	40.89	46.10	0.000163	1.31	386.83	60.73	0.16
Inferior	-108.25	PF 1	480.00	33.73	46.00	40.76	46.09	0.000155	1.37	376.04	59.79	0.16
Inferior	-158.25	PF 1	480.00	33.23	45.98	40.67	46.08	0.000180	1.48	344.15	54.37	0.17

PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE LIBRE

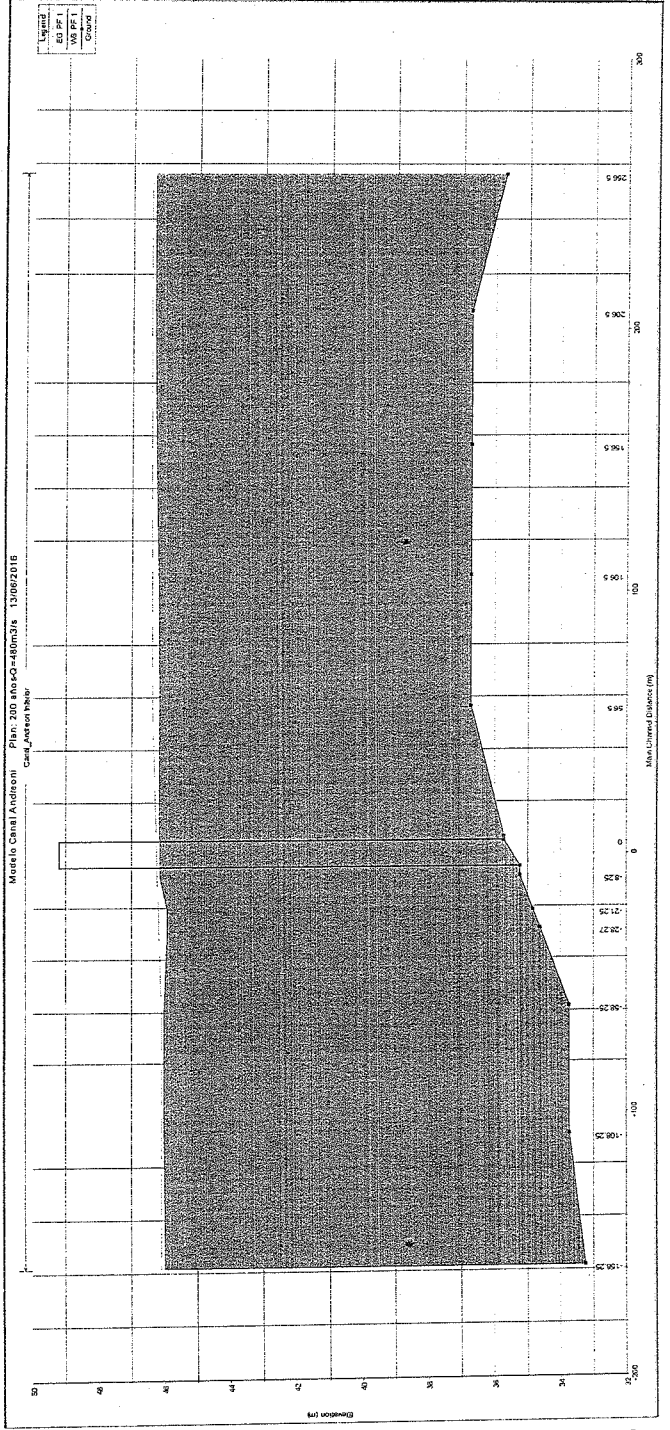


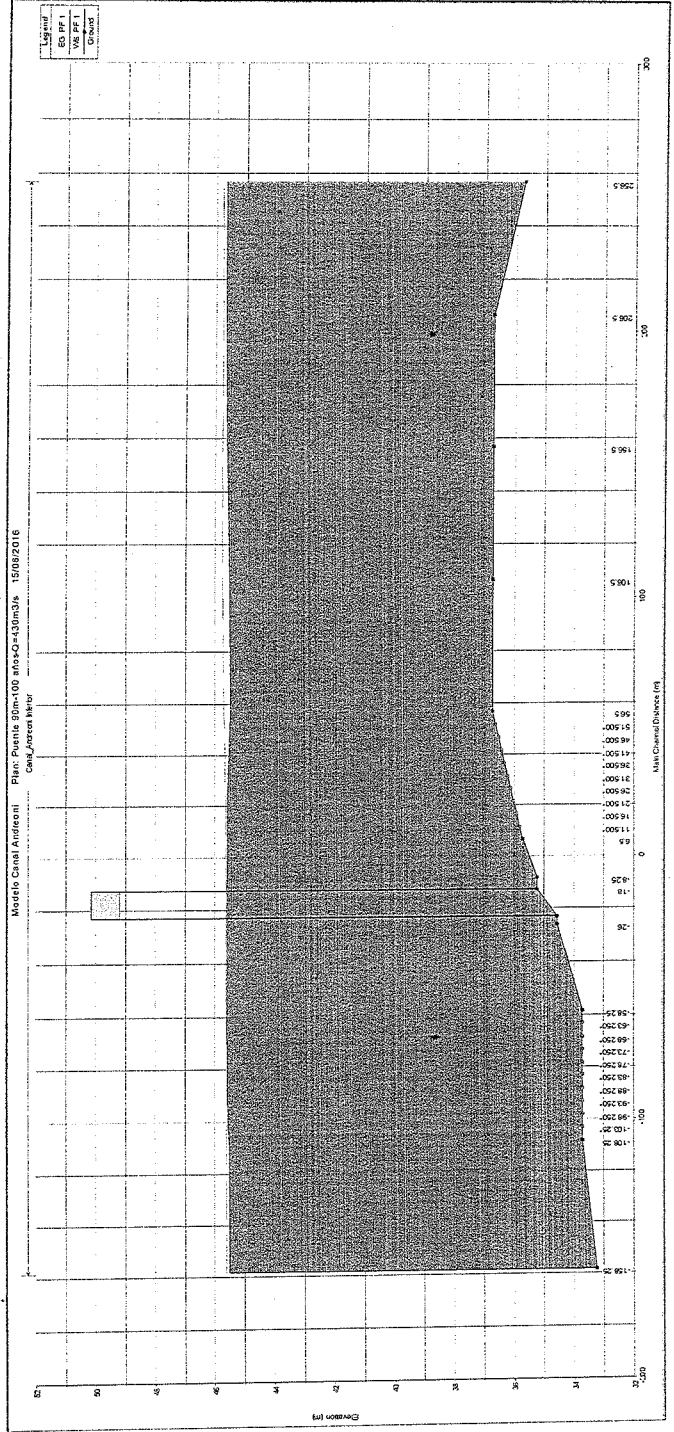
FIGURA 7

PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 MODELO HIDRODINÁMICO - SITUACIÓN CON PUENTE PROPUESTO (L = 90 m)
 Recurrencia 100 años

RESUMEN SALIDA DEL MODELO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Inferior	256.5	PF 1	430.00	35.73	45.67	40.84	45.80	0.000205	1.61	294.55	54.92	0.19
Inferior	206.5	PF 1	430.00	36.73	45.67	40.69	45.78	0.000184	1.58	299.20	54.85	0.18
Inferior	156.5	PF 1	430.00	36.73	45.61	41.37	45.77	0.000301	1.79	258.42	51.63	0.23
Inferior	106.5	PF 1	430.00	36.73	45.53	41.69	45.74	0.000539	2.07	217.85	49.20	0.29
Inferior	56.5	PF 1	430.00	36.73	45.48	42.00	45.71	0.000627	2.17	205.92	47.29	0.31
Inferior	6.5	PF 1	430.00	35.73	45.58	38.95	45.64	0.000098	1.07	423.88	86.46	0.13
Inferior	-8.25	PF 1	430.00	35.23	45.59	38.37	45.63	0.000069	0.95	469.92	84.27	0.11
Inferior	-18	Bridge										
Inferior	-26	PF 1	430.00	34.57	45.59	37.79	45.63	0.000064	0.92	485.79	115.64	0.11
Inferior	-58.25	PF 1	430.00	33.73	45.59	36.95	45.63	0.000042	0.90	499.22	56.47	0.09
Inferior	-108.25	PF 1	430.00	33.73	45.54	40.59	45.62	0.000157	1.32	348.20	59.05	0.16
Inferior	-158.25	PF 1	430.00	33.23	45.51	40.49	45.61	0.000180	1.42	319.19	52.66	0.17

PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE LIBRE



[Handwritten signatures and marks]

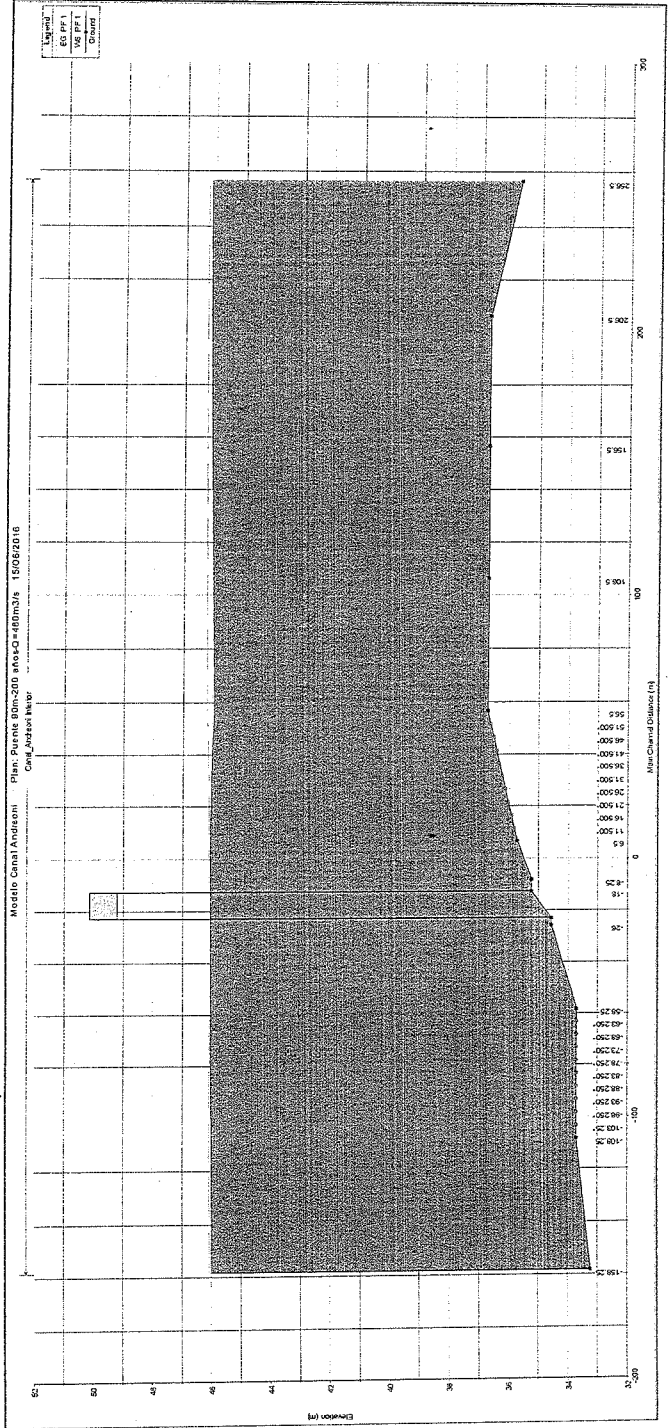
FIGURA 8

PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 MODELO HIDRODINÁMICO - SITUACIÓN CON PUENTE PROPUESTO (L = 90 m)
 Recurrencia 200 años

RESUMEN SALIDA DEL MODELO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Inferior	256.5	PF 1	480.00	35.73	46.13	41.04	46.27	0.000203	1.66	320.47	57.26	0.19
Inferior	206.5	PF 1	480.00	36.73	46.13	40.89	46.26	0.000184	1.64	325.08	57.17	0.19
Inferior	156.5	PF 1	480.00	36.73	46.08	41.62	46.24	0.000290	1.84	282.73	53.51	0.23
Inferior	106.5	PF 1	480.00	36.73	46.00	41.94	46.22	0.000498	2.10	241.27	51.38	0.28
Inferior	56.5	PF 1	480.00	36.73	45.95	42.26	46.19	0.000573	2.20	228.53	49.16	0.30
Inferior	6.5	PF 1	480.00	35.73	46.05	39.18	46.11	0.000095	1.11	468.30	101.23	0.13
Inferior	-8.25	PF 1	480.00	35.23	46.06	38.58	46.11	0.000069	0.99	509.75	99.55	0.11
Inferior	-18	Bridge	480.00	34.57	46.06	38.01	46.10	0.000064	0.95	525.20	129.63	0.11
Inferior	-26	PF 1	480.00	33.73	46.06	37.17	46.10	0.000045	0.96	525.82	56.86	0.09
Inferior	-58.25	PF 1	480.00	33.73	46.00	40.76	46.09	0.000155	1.37	376.04	59.79	0.16
Inferior	-108.25	PF 1	480.00	33.23	45.98	40.67	46.08	0.000180	1.48	344.15	54.37	0.17

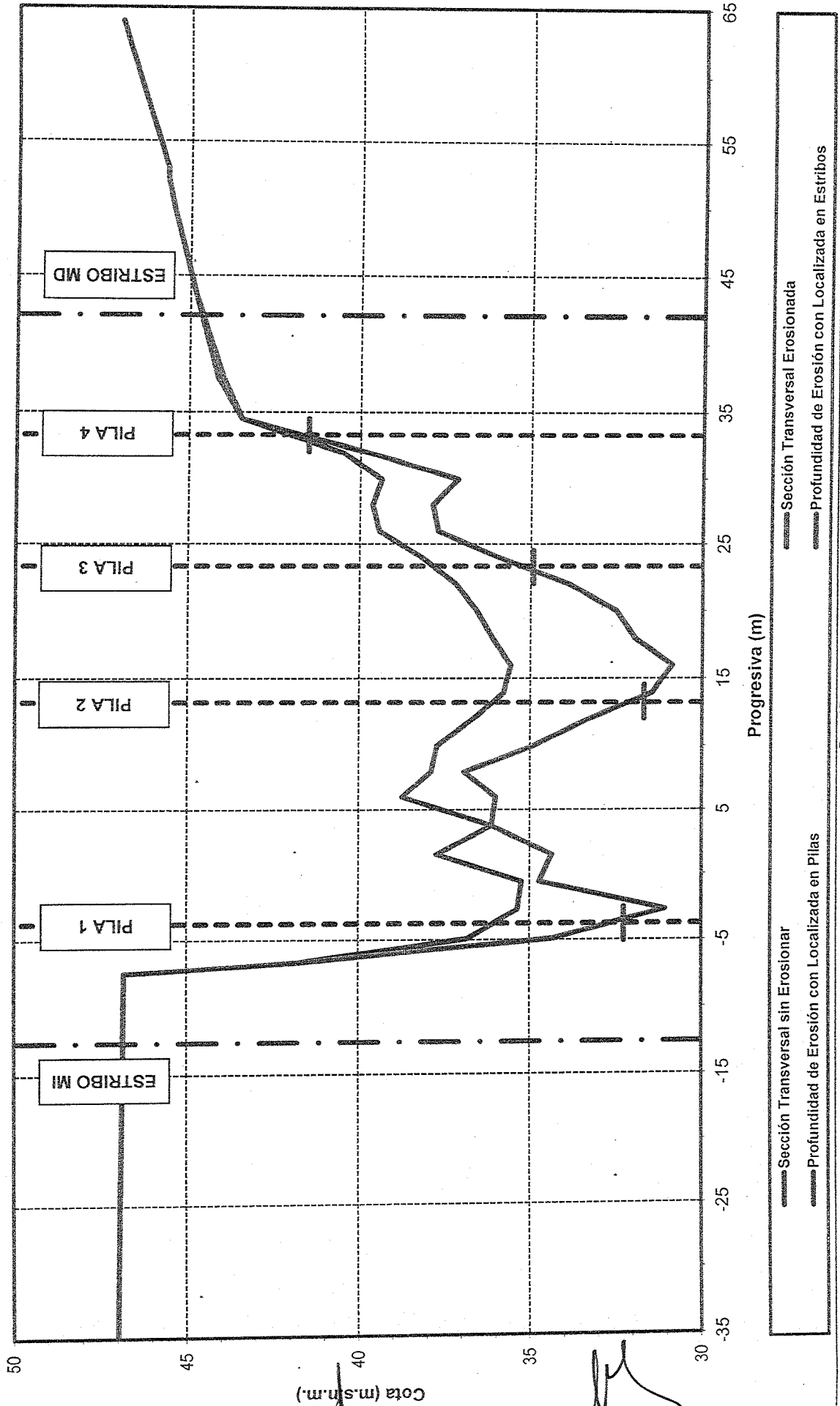
PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE LIBRE



Handwritten signatures and initials at the bottom of the page.

FIGURA 9

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS
TR = 100 años



Sección Transversal Erosionada
Profundidad de Erosión con Localizada en Estribos

FIGURA 10

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS
TR = 200 años

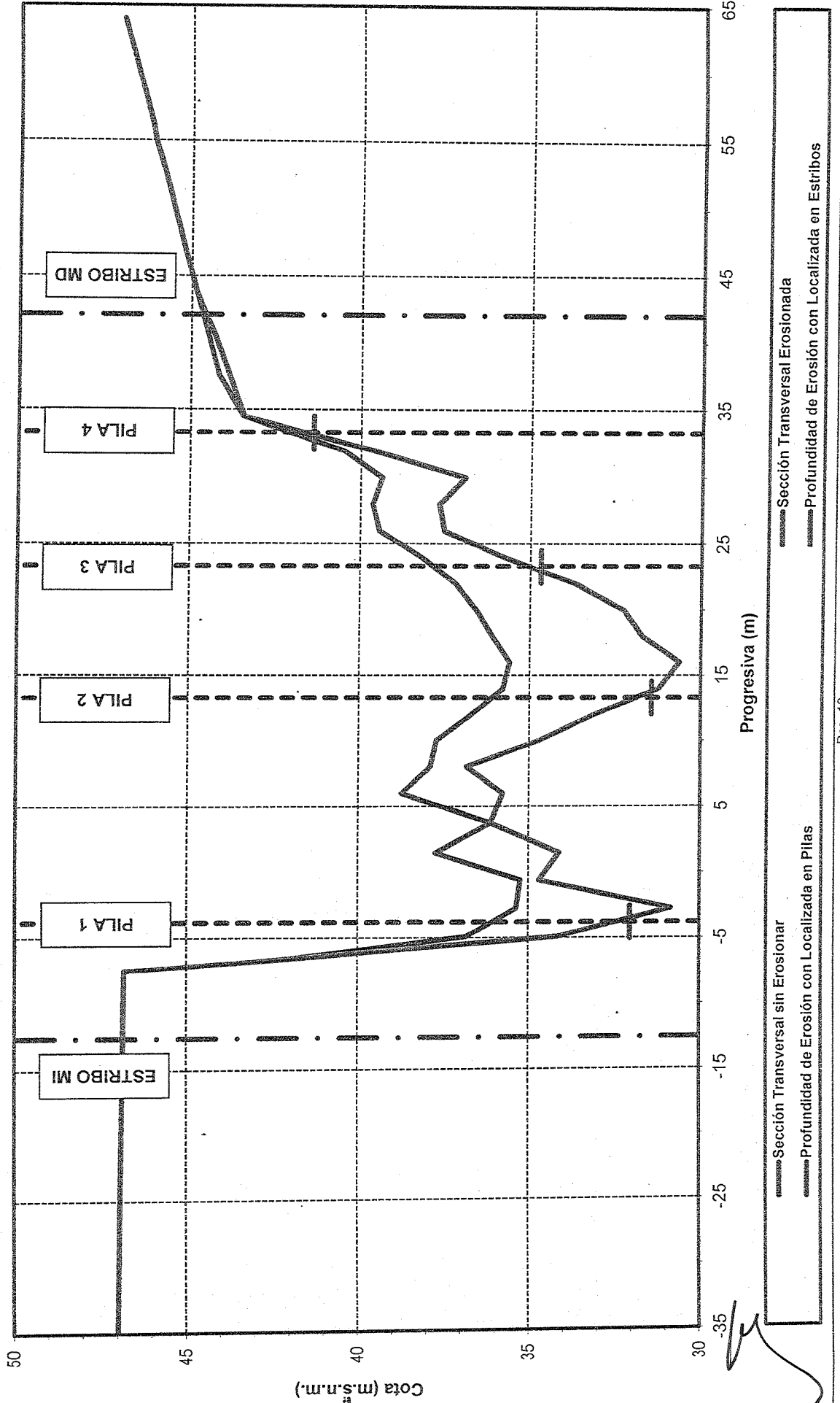
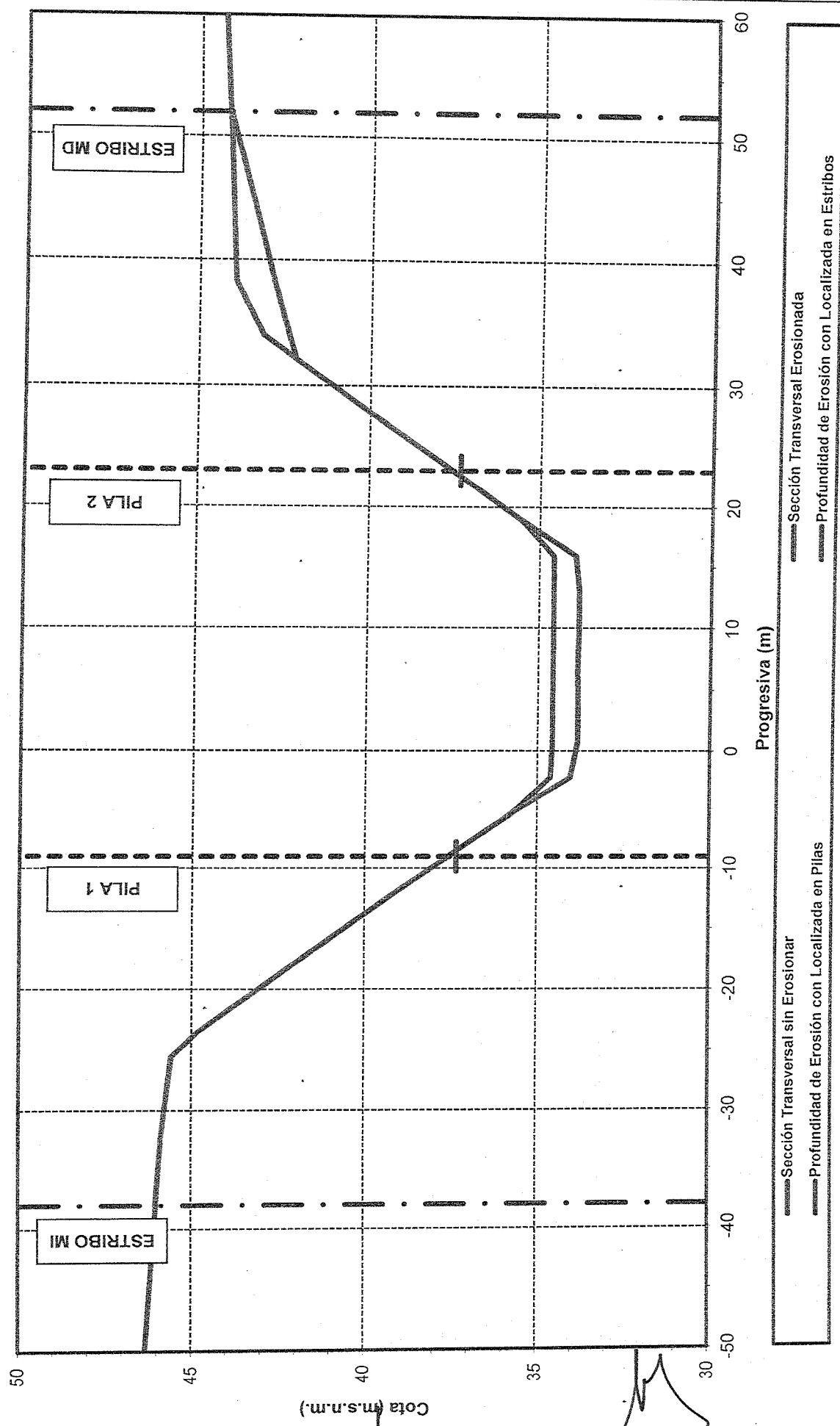


FIGURA 11

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS
TR = 100 años



Sección Transversal sin Erosionar

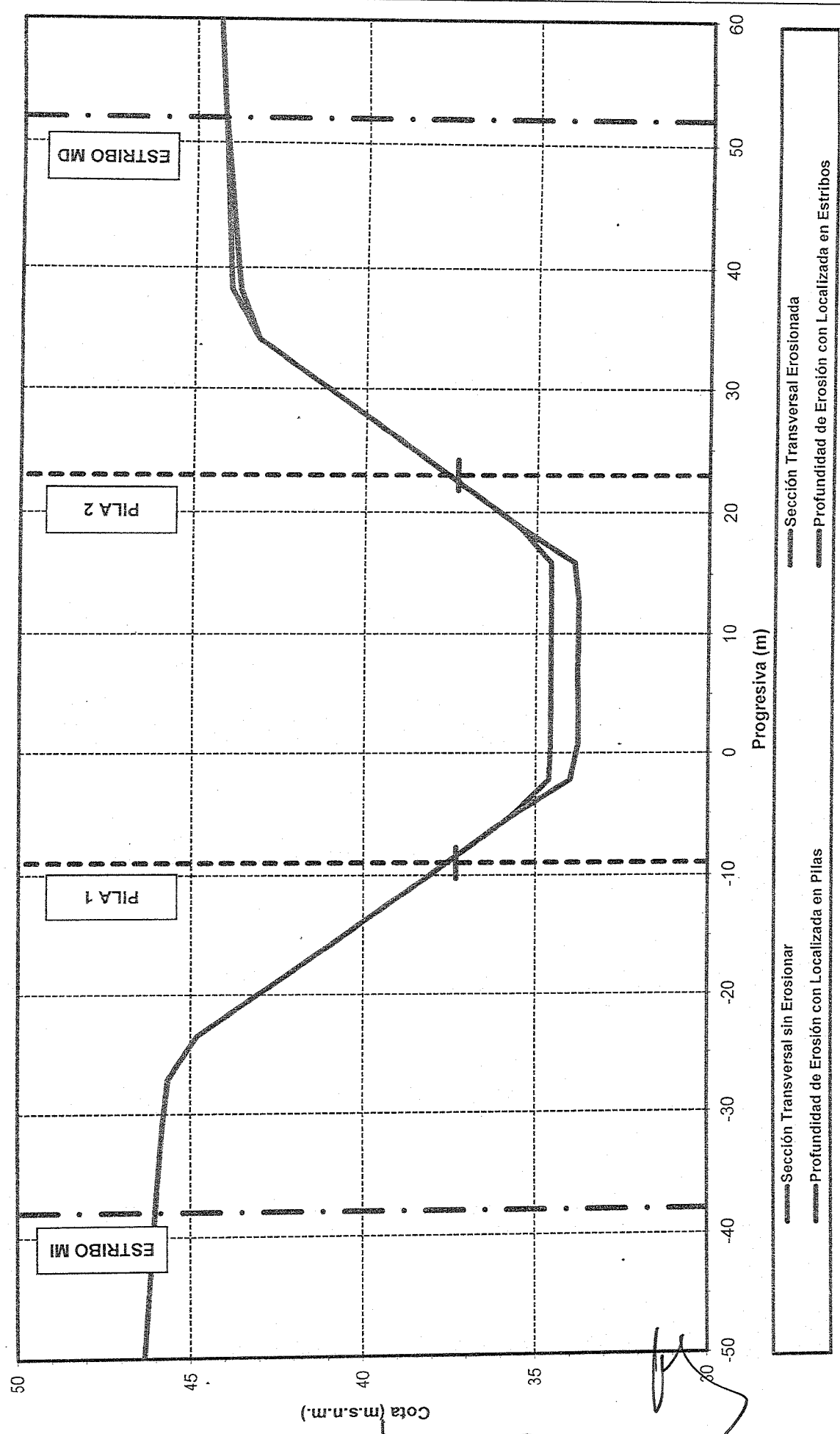
Profundidad de Erosión con Localizada en Pilas

Sección Transversal Erosionada

Profundidad de Erosión con Localizada en Estribos

FIGURA 12

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS
TR = 200 años



Sección Transversal sin Erosionar
 Profundidad de Erosión con Localizada en Pilas

[Handwritten signatures and marks]

TABLA 1

PUENTE RUTA NACIONAL N° 9 - SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS
 LEYES ALTURA-CAUDAL (h-Q)

Ecuación de las curvas:

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = a [h(m) - h_0(m)]^b$$

Período	a	b	h_0 (m)	r^2
1987-1989	28.100	1.841	1.265	0.978
1990-1996	30.550	1.781	1.030	0.964
1997	29.204	1.898	1.000	0.978
1998	33.048	1.852	0.950	0.981
1999	33.762	1.858	0.885	0.972
2000	38.570	1.797	0.825	0.977
2001	42.878	1.724	0.750	0.997

PUENTE RUTA NACIONAL N° 9 - SOBRE EL CANAL ANDREON
 TEORÍA DE VALORES EXTREMOS
 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIOS DIARIOS
 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO I - GUMBEL

Y_n	0.5282
σ_n	1.0812
X_{media}	132.84
S	78.76
α	0.01
X_f	94.36
N	23
α	90%

N° de Orden m	Q_i (m^3/s)	Probabilidad	Recurrencia (años)	Y	Factor de frecuencia K	$Q=Q_{media}+K*S$ (m^3/s)	ΔQ (m^3/s)	$L_{sup}=Q+\Delta Q$ (m^3/s)	$L_{inf}=Q-\Delta Q$ (m^3/s)
1	363.72	0.96	24.00	3.1568	2.4313	324.32	86.58	410.90	237.74
2	276.76	0.92	12.00	2.4417	1.7699	272.23	68.67	340.90	203.56
3	294.68	0.88	8.00	2.0134	1.3737	241.03	58.20	299.22	182.83
4	208.71	0.83	6.00	1.7020	1.0857	218.34	50.78	269.12	167.56
5	171.03	0.79	4.80	1.4541	0.8564	200.28	45.06	245.34	155.22
6	168.59	0.75	4.00	1.2459	0.6638	185.12	40.44	225.56	144.68
7	168.50	0.71	3.43	1.0647	0.4962	171.92	36.60	208.52	135.31
8	151.59	0.67	3.00	0.9027	0.3464	160.12	33.38	193.50	126.74
9	144.62	0.63	2.67	0.7550	0.2098	149.36	30.65	180.01	118.71
10	129.53	0.58	2.40	0.6180	0.0831	139.38	28.36	167.74	111.02
11	124.44	0.54	2.18	0.4892	-0.0361	130.00	26.47	156.47	103.53
12	121.44	0.50	2.00	0.3665	-0.1496	121.06	24.96	146.02	96.10
13	105.82	0.46	1.85	0.2483	-0.2590	112.45	23.83	136.28	88.61
14	105.01	0.42	1.71	0.1330	-0.3656	104.05	23.08	127.13	80.97
15	101.72	0.38	1.60	0.0194	-0.4707	95.77	22.71	118.49	73.06
16	81.65	0.33	1.50	-0.0940	-0.5756	87.51	22.73	110.24	64.78
17	77.49	0.29	1.41	-0.2088	-0.6817	79.16	23.14	102.30	56.01
18	77.49	0.25	1.33	-0.3266	-0.7907	70.57	23.95	94.52	46.62
19	76.16	0.21	1.26	-0.4502	-0.9050	61.57	25.18	86.75	36.38
20	74.23	0.17	1.20	-0.5832	-1.0280	51.88	26.88	78.76	25.00
21	65.61	0.13	1.14	-0.7321	-1.1657	41.03	29.17	70.20	11.87
22	36.05	0.08	1.09	-0.9102	-1.3305	28.06	32.31	60.36	-4.25
23	10.47	0.04	1.04	-1.1563	-1.5581	10.13	37.18	47.31	-27.04

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

1.- Erosión General

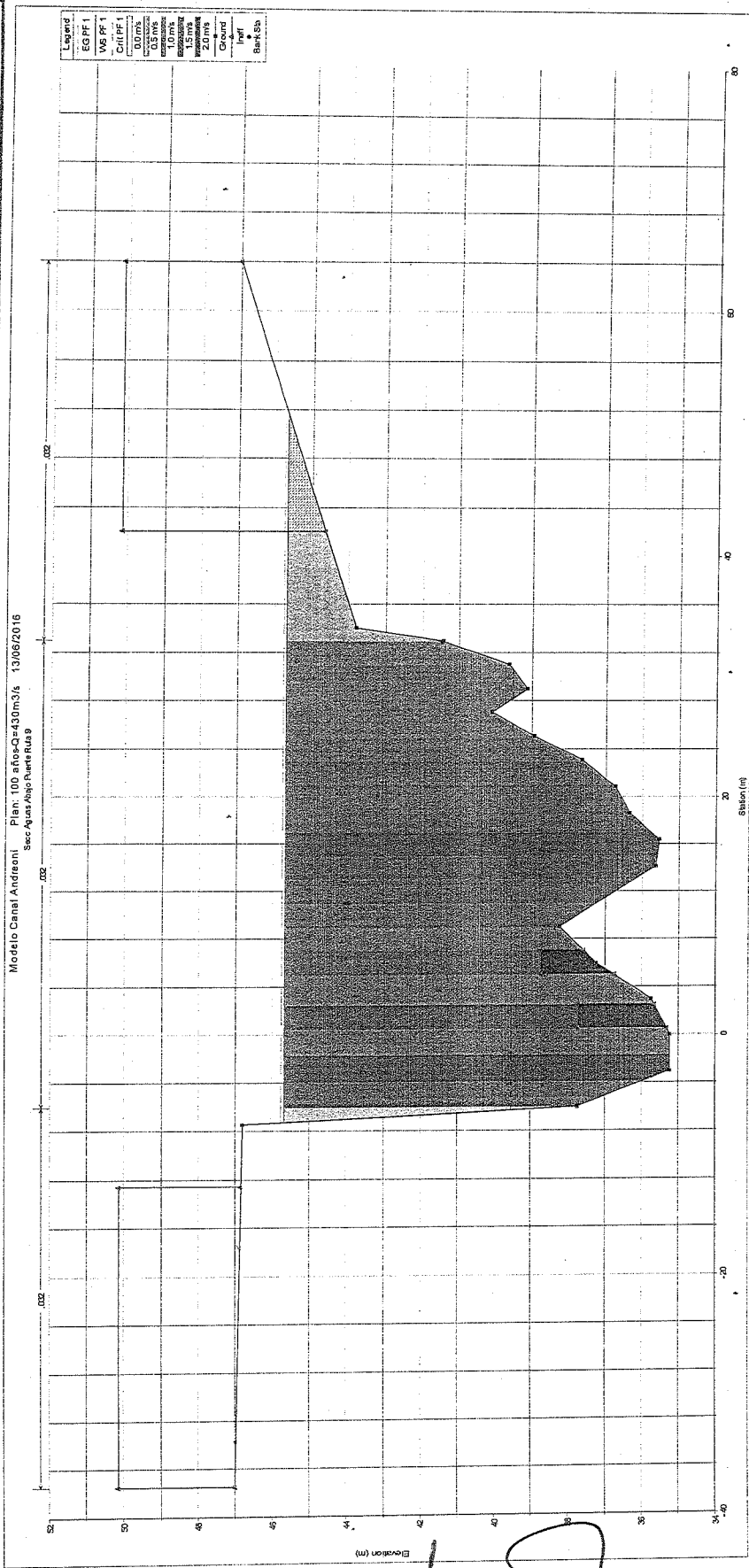
Método de L. L. Litchvan - Lebediev

DATOS	
Curso :	CANAL ANDREONI
Progresiva Sección Modelo Hidrodinámico :	-8.25
Tr (años) :	100
Q _d (m ³ /s) :	430.00
Cota Pelo Agua (m.s.n.m.) :	45.67
Tipo de Suelo :	NO COHESIVO
d _m (mm) :	0.1
γ (t/m ³) :	
PARAMETROS DE CÁLCULO	
β =	1.00
κ =	0.43

TABLA 3

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS - DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN EN ESTUDIO



[Handwritten signatures and marks]

TABLA 3

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL CON LOS DATOS DE SALIDA DEL MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS

FAJA (N°)	Prog. Izaq. (m)	Prog. Der. (m)	Q _i (m³/s)	A _i (m²)	Conduc. Feja (%)	h _i (m)	V _i (m/s)	τ (N/m²)	Prog. Med. (m)	q _i (m³/s/m)	d _m (mm)	h _{si} (m)	Erosión (m)	Cota Final (m.s.n.m.)	Ve (m/s)
1	-9.30	-6.00	1.39	5.04	0.32	3.97	0.28	0.90	-7.29	0.42	0.1	3.97	0.00	45.67	0.11
2	-6.00	-3.83	24.63	19.17	5.73	8.85	1.28	9.75	-6.60	11.35	0.1	11.33	2.48	41.70	1.00
3	-3.83	-1.67	35.22	22.34	8.19	10.31	1.58	13.26	-2.75	16.31	0.1	14.61	4.30	34.34	1.00
4	-1.67	0.50	23.44	22.61	5.45	10.43	1.04	7.07	-0.59	10.80	0.1	10.95	0.52	31.06	1.12
5	0.50	2.50	22.65	15.89	5.27	7.94	1.43	11.40	1.50	11.33	0.1	11.32	3.38	34.35	0.99
6	2.50	5.00	19.71	23.88	4.58	9.55	0.83	5.02	3.75	7.88	0.1	9.55	0.00	36.12	1.00
7	5.00	7.00	18.10	13.89	4.21	6.94	1.30	9.96	6.00	9.05	0.1	9.67	2.73	36.00	0.83
8	7.00	9.00	15.70	15.53	3.65	7.78	1.01	6.81	8.00	7.85	0.1	6.75	0.97	36.92	0.94
9	9.00	10.99	20.96	15.87	4.88	7.95	1.32	10.17	10.00	10.53	0.1	10.76	2.81	34.91	0.90
10	10.99	12.99	25.62	17.90	5.96	8.97	1.43	11.47	11.99	12.81	0.1	12.34	3.37	33.33	0.98
11	12.99	14.98	31.19	19.75	7.25	9.89	1.58	13.29	13.99	15.67	0.1	14.21	4.32	31.46	1.04
12	14.98	16.98	33.22	20.14	7.73	10.09	1.65	14.19	15.98	16.61	0.1	14.80	4.71	30.87	1.10
13	16.98	18.98	29.80	19.10	6.93	9.57	1.56	13.05	17.98	14.90	0.1	13.72	4.15	31.95	1.12
14	18.98	20.97	27.99	18.16	6.51	9.10	1.42	12.81	19.98	14.07	0.1	13.17	4.07	32.50	1.09
15	20.97	22.97	24.06	16.96	5.60	8.50	1.22	11.32	21.97	12.03	0.1	11.81	3.31	33.86	1.07
16	22.97	24.97	18.26	14.93	4.25	7.48	1.10	9.06	23.97	9.13	0.1	9.73	2.25	35.94	0.94
17	24.97	26.96	13.65	12.45	3.17	6.23	1.10	7.89	25.97	6.86	0.1	7.96	1.73	37.71	0.86
18	26.96	28.96	13.32	12.05	3.10	6.04	1.10	7.78	27.96	6.66	0.1	7.80	1.76	37.87	0.85
19	28.96	30.95	15.06	12.58	3.50	6.30	1.20	8.76	29.96	7.57	0.1	8.53	2.23	37.14	0.89
20	30.95	32.95	9.02	10.31	2.10	5.16	0.87	5.48	31.95	4.51	0.1	5.93	0.77	39.74	0.76
21	32.95	36.00	3.27	6.75	0.76	2.21	0.48	2.10	34.98	1.07	0.1	2.21	0.00	43.46	0.49
22	36.00	39.05	2.24	4.57	0.52	1.50	0.49	2.14	37.53	0.73	0.1	1.66	0.16	44.01	0.44
23	39.05	42.10	1.50	3.58	0.35	1.17	0.42	1.67	40.58	0.49	0.1	1.26	0.09	44.41	0.39
24	42.10	45.23	0.00	2.64	0.00	0.84	0.00	1.20	43.67	0.00	0.1	0.84	0.00	44.83	0.00
25	45.23	48.36	0.00	1.59	0.00	0.51	0.00	0.73	46.80	0.00	0.1	0.51	0.00	45.16	0.00
26	48.36	51.49	0.00	0.55	0.00	0.18	0.00	0.25	49.93	0.00	0.1	0.18	0.00	45.49	0.00
27	51.49	54.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.20	0.00	0.1	0.00	0.00	45.67	0.00

430.00 348.23 1.23

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

2.- Erosión Local en Pilas

Método de Yaroslavtziev

$$S_o = K_f * K_v * (e + K_h) * V^2 / (2 * g) - 30 * d$$

$$K_v : Lg \quad K_v = -0.28 * (V^2 / (g * b^3))^{1/3}$$

Kf: Depende de la forma de la pila y el ángulo incidencia de la corriente

e: Depende de la ubicación de la pila (cauce o planicie de inundación)

$$K_h : Lg \quad K_h = 0.17 - 0.35 * H/b^1$$

d₈₅ (m) : Diámetro (o diámetro equivalente) de las partículas más gruesas

CONSTANTES												
Cota Creciente (m.s.n.m)	Pila Progresiva (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Pila (m)	Kv	Kf	e	Kh	Diámetro Equivalent. (m)	Erosión So (m)	Cota Final (m.s.n.m)
45.67	-3.80	32.65	13.02	1.06	0.52	0.68	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.39	32.25
45.67	13.30	32.10	13.57	1.08	0.52	0.67	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.41	31.69
45.67	23.30	35.24	10.43	0.97	0.52	0.69	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.32	34.92
45.67	33.30	41.73	3.94	0.61	0.52	0.76	10.00	1.00	0.00	0.0024	0.22	41.51

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

3.- Erosión Local en Estribos

Método de K.F. Artamonov

$$St = Pa * Pq * Pr * Ho$$

Pa : Depende del ángulo de incidencia de la corriente

Pq : Depende de la relación Q_1/Q

Pr : Depende del talud del estribo

$$Q_1/Q = 0.00$$

$$Q_3/Q = 0.02$$

$$\alpha^\circ = 90$$

Cota Creciente (m.s.n.m)	Progresiva Ero Estribo (m)	Cota		Tirante		Pa	Constantes		Pr	Tirante		Cota		Erosión Ee (m)
		Inicial (m.s.n.m)	Final	Inicial (m)	Final		Pq	Pq		Final (m.s.n.m)	Final (m)			
45.67	-7.45	46.81	0.00	1.01	0.00	0.85	0.00	0.36	0.85	0.00	46.81	43.46	0.00	
45.67	34.48	43.46	2.21	1.01	0.36	0.85	0.36	0.36	0.85	0.68	43.46	43.46	0.00	

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

1.- Erosión General

Método de L. L. Litchvan - Lebediev

DATOS	
Curso :	CANAL ANDREONI
Progresiva Sección Modelo Hidrodinámico :	-8.25
Tr (años) :	200
Q _d (m ³ /s) :	480.00
Cota Pelo Agua (m.s.n.m.) :	46.14
Tipo de Suelo :	NO COHESIVO
d _m (mm) :	0.1
γ (t/m ³) :	.
PARAMETROS DE CALCULO	
β =	1.02
x =	0.43

Handwritten signature

Handwritten signature

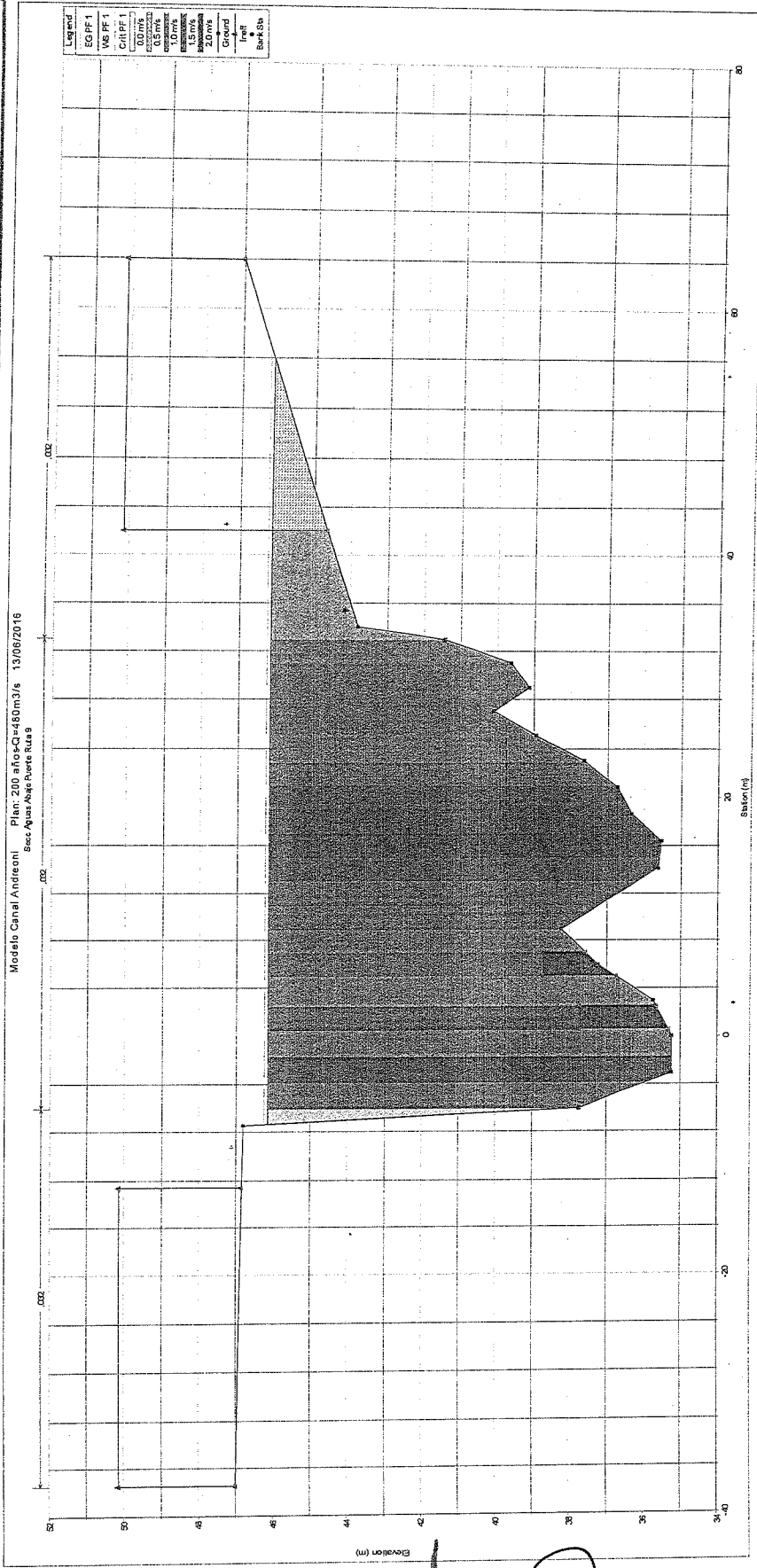
Handwritten signature

Handwritten signature

TABLA 4

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS - DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN EN ESTUDIO



[Handwritten signatures and marks]

TABLA 4

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL CON LOS DATOS DE SALIDA DEL MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS

FAJA (N°)	Prog. Izq. (m)	Prog. Der. (m)	Q _i (m³/s)	A _i (m²)	Conduc. Faja (%)	h _i (m)	V _i (m/s)	τ (N/m²)	Prog. Med. (m)	q _i (m³/s/m)	d _m (mm)	h _{sl} (m)	Erosión (m)	Cota Final (m.s.n.m.)	Ve (m/s)
1	-9.30	-6.00	1.64	5.65	0.34	4.20	0.29	0.98	-7.34	0.50	0.1	4.20	0.00	46.14	0.12
2	-6.00	-3.83	27.20	20.18	5.67	9.31	1.35	10.53	-6.50	12.53	0.1	11.97	2.66	41.94	1.05
3	-3.83	-1.67	38.45	23.35	8.01	10.78	1.65	14.21	-4.92	17.80	0.1	15.30	4.52	34.17	1.16
4	-1.67	0.50	25.56	23.61	5.33	10.90	1.08	7.57	-0.59	11.78	0.1	11.46	0.56	30.84	1.03
5	0.50	2.50	25.26	16.82	5.26	8.41	1.50	12.38	1.50	12.63	0.1	12.03	3.62	34.11	1.05
6	2.50	5.00	21.64	25.04	4.51	10.02	0.86	5.40	3.75	8.66	0.1	10.02	0.00	36.12	0.86
7	5.00	7.00	20.45	14.82	4.26	7.41	1.38	10.90	6.00	10.23	0.1	10.37	2.96	35.77	0.99
8	7.00	9.00	17.55	16.45	3.66	8.24	1.07	7.40	8.00	8.78	0.1	9.32	1.08	36.82	0.94
9	9.00	10.99	23.37	16.80	4.87	8.42	1.39	11.04	10.00	11.74	0.1	11.43	3.01	34.71	1.03
10	10.99	12.99	28.27	18.83	5.89	9.43	1.50	12.37	11.99	14.14	0.1	13.02	3.59	33.12	1.09
11	12.99	14.98	34.15	20.68	7.11	10.36	1.65	14.27	13.99	17.16	0.1	14.91	4.55	31.23	1.15
12	14.98	16.98	36.33	21.07	7.57	10.55	1.72	15.23	15.98	18.17	0.1	15.52	4.97	30.82	1.17
13	16.98	18.98	32.71	20.03	6.82	10.04	1.63	14.03	17.98	16.36	0.1	14.42	4.38	31.72	1.13
14	18.98	20.97	30.84	19.09	6.43	9.56	1.62	13.81	19.98	15.50	0.1	13.88	4.32	32.26	1.12
15	20.97	22.97	26.87	17.89	5.56	8.96	1.49	12.24	21.97	13.34	0.1	12.50	3.54	33.64	1.07
16	22.97	24.97	20.48	15.86	4.27	7.94	1.29	9.87	23.97	10.24	0.1	10.38	2.44	35.76	0.99
17	24.97	26.96	15.61	13.37	3.25	6.70	1.17	8.48	25.97	7.84	0.1	8.61	1.91	37.53	0.91
18	26.96	28.96	15.29	12.98	3.18	6.50	1.18	8.59	27.96	7.65	0.1	8.46	1.96	37.68	0.90
19	28.96	30.95	17.19	13.51	3.68	6.77	1.27	9.65	29.96	8.64	0.1	9.22	2.45	36.92	0.94
20	30.95	32.95	10.56	11.24	2.20	5.63	0.94	6.12	31.95	5.28	0.1	6.53	0.90	39.61	0.81
21	32.95	36.00	4.57	8.16	0.95	2.68	0.56	2.61	34.48	1.50	0.1	2.70	0.02	43.44	0.56
22	36.00	39.05	3.57	5.99	0.74	1.96	0.60	2.87	37.53	1.17	0.1	2.27	0.31	43.87	0.52
23	39.05	42.10	2.64	4.99	0.55	1.64	0.53	2.40	40.58	0.87	0.1	1.84	0.20	44.30	0.47
24	42.10	45.23	0.00	4.09	0.00	1.31	0.00	1.91	43.67	0.00	0.1	1.31	0.00	44.83	0.00
25	45.23	48.36	0.00	3.05	0.00	0.97	0.00	1.43	46.80	0.00	0.1	0.97	0.00	45.17	0.00
26	48.36	51.49	0.00	2.00	0.00	0.64	0.00	0.94	49.93	0.00	0.1	0.64	0.00	45.50	0.00
27	51.49	54.61	0.00	0.96	0.00	0.31	0.00	0.45	53.05	0.00	0.1	0.31	0.00	45.83	0.00
28	54.61	57.74	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00	0.10	55.00	0.00	0.1	0.07	0.00	46.07	0.00
									55.93					46.14	

480.00 376.60

1.27

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

2.- Erosión Local en Pilas

Método de Yaroslavtziev

$$S_o = K_f * K_v * (e + K_h) * V^2 / (2 * g) - 30 * d$$

$$K_v : L_g \quad K_v = -0.28 * (V^2 / g * b^1)^{1/3}$$

Kf : Depende de la forma de la pila y el ángulo incidencia de la corriente

e : Depende de la ubicación de la pila (cauce o planicie de inundación)

$$K_h : L_g \quad K_h = 0.17 - 0.35 * H / b^1$$

d₈₅ (m) : Diámetro (o diámetro equivalente) de las partículas mas gruesas

Cota Creciente (m.s.n.m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Pila (m)	Kv	CONSTANTES			Erosión So (m)	Cota Final (m.s.n.m)
						Kf	e	Kh		
46.14	32.46	13.68	1.11	0.52	0.67	10.00	0.60	0.00	0.43	32.03
46.14	31.88	14.26	1.13	0.52	0.67	10.00	0.60	0.00	0.45	31.43
46.14	35.05	11.09	1.01	0.52	0.69	10.00	0.60	0.00	0.36	34.69
46.14	33.30	4.48	0.67	0.52	0.75	10.00	1.00	0.00	0.27	41.38

TABLA 4

PUENTE EXISTENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

3.- Erosión Local en Estribos

Método de K.F. Artamonov

$St = P\alpha * Pq * Pr * Ho$

$P\alpha$: Depende del ángulo de incidencia de la corriente

Pq : Depende de la relación Q_3/Q

Pr : Depende del talud del estribo

$Q_1/Q = 0.00$

$Q_3/Q = 0.02$

$\alpha^\circ = 90$

Cota Creciente (m.s.n.m)	Progresiva Ero Estribo (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	$P\alpha$	Constantes Pq	Pr	Tirante Final (m)	Cota Final (m.s.n.m)	Erosión Ee (m)
46.14	-7.45	46.81	0.00	1.01	0.00	0.85	0.00	46.81	0.00
46.14	34.48	43.44	2.70	1.01	0.63	0.85	1.47	43.44	0.00

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

1.- Erosión General

Método de L. L. Litchvan - Lebediev

DATOS	
Curso :	CANAL ANDREONI
Progresiva Sección Modelo Hidrodinámico :	-26.00
Tr (años) :	100
Q _d (m ³ /s) :	430.00
Cota Felo Agua (m.s.n.m.) :	45.59
Tipo de Suelo :	NO COHESIVO
d _m (mm) :	0.1
γ (t/m ³) :	
PARAMETROS DE CALCULO	
β =	1.00
x =	0.43

TABLA 5

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL CON LOS DATOS DE SALIDA DEL MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS

FAJA (N°)	Prog. Izq. (m)	Prog. Der. (m)	Q _i (m³/s)	A _i (m²)	Conduc. Faja (%)	h _i (m)	V _i (m/s)	τ (N/m²)	Prog. Med. (m)	q _i (m³/s/m)	d _m (mm)	h _{ai} (m)	Erosión (m)	Cota Final (m.s.n.m.)	Ve (m/s)
1	-29.31	-24.97	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	-25.63	0.00	0.1	0.01	0.00	45.59	0.00
2	-24.97	-21.94	0.40	2.38	0.10	0.79	0.17	0.44	-23.46	0.13	0.1	0.79	0.00	45.58	0.00
3	-21.94	-18.91	2.48	6.98	0.58	2.30	0.35	1.29	-20.43	0.82	0.1	2.30	0.00	44.80	0.17
4	-18.91	-15.88	5.75	11.57	1.34	3.82	0.50	2.13	-17.40	1.90	0.1	3.82	0.00	43.29	0.38
5	-15.88	-12.85	10.04	16.16	2.34	5.33	0.62	2.98	-14.37	3.31	0.1	5.33	0.00	41.77	0.50
6	-12.85	-9.82	15.24	20.76	3.54	6.85	0.73	3.83	-11.34	5.03	0.1	6.85	0.00	40.26	0.62
7	-9.82	-6.79	21.26	25.35	4.94	8.37	0.84	4.67	-8.31	7.02	0.1	8.37	0.00	38.74	0.73
8	-6.79	-3.76	28.06	29.95	6.53	9.88	0.94	5.52	-5.28	9.26	0.1	9.88	0.00	37.22	0.84
9	-3.76	-0.73	35.30	33.25	8.21	10.97	1.06	6.86	-2.25	11.65	0.1	11.54	0.00	35.71	0.94
10	-0.73	2.30	36.25	33.39	8.43	11.02	1.09	6.88	0.79	11.96	0.1	11.76	0.74	34.05	1.01
11	5.33	5.33	36.25	33.39	8.43	11.02	1.09	6.88	3.82	11.96	0.1	11.76	0.74	33.83	1.02
12	5.33	8.37	36.25	33.39	8.43	11.02	1.09	6.88	6.85	11.92	0.1	11.73	0.71	33.86	1.02
13	8.37	11.40	36.25	33.39	8.43	11.02	1.09	6.88	9.89	11.96	0.1	11.76	0.74	33.83	1.02
14	11.40	14.43	36.25	33.39	8.43	11.02	1.09	6.88	12.92	11.96	0.1	11.76	0.74	33.83	1.02
15	14.43	17.46	35.73	33.34	8.31	11.00	1.07	6.75	15.95	11.79	0.1	11.64	0.64	33.95	1.01
16	17.46	20.49	28.78	30.40	6.69	10.03	0.95	5.60	18.98	9.50	0.1	10.03	0.00	35.56	0.95
17	20.49	23.52	21.91	25.81	5.09	8.52	0.85	4.76	22.01	7.23	0.1	8.52	0.00	37.07	0.85
18	23.52	26.55	15.80	21.22	3.68	7.00	0.74	3.91	25.04	5.21	0.1	7.00	0.00	38.59	0.74
19	26.55	29.58	10.53	16.63	2.45	5.49	0.63	3.06	28.07	3.48	0.1	5.49	0.00	40.10	0.63
20	29.58	32.61	6.14	12.03	1.43	3.97	0.51	2.22	31.10	2.03	0.1	3.97	0.00	41.62	0.51
21	32.61	35.64	2.76	7.44	0.64	2.46	0.37	1.37	34.13	0.91	0.1	2.46	0.00	43.13	0.37
22	35.64	41.09	3.14	9.01	0.73	1.65	0.35	1.03	38.37	0.58	0.1	1.65	0.00	43.94	0.35
23	41.09	46.55	2.85	8.51	0.66	1.56	0.34	0.97	43.82	0.52	0.1	1.56	0.00	44.03	0.33
24	46.55	52.00	2.58	8.02	0.60	1.47	0.32	0.92	49.28	0.47	0.1	1.47	0.00	44.12	0.32
25	52.00	57.43	0.00	7.48	0.00	1.38	0.00	0.86	54.72	0.00	0.1	1.38	0.00	44.21	0.00
26	57.43	62.86	0.00	6.99	0.00	1.29	0.00	0.80	60.15	0.00	0.1	1.29	0.00	44.30	0.00
27	62.86	68.29	0.00	6.50	0.00	1.20	0.00	0.75	65.58	0.00	0.1	1.20	0.00	44.39	0.00
28	68.29	73.71	0.00	6.00	0.00	1.11	0.00	0.69	71.00	0.00	0.1	1.11	0.00	44.48	0.00
29	73.71	79.14	0.00	5.51	0.00	1.02	0.00	0.63	76.43	0.00	0.1	1.02	0.00	44.57	0.00
30	79.14	84.57	0.00	5.02	0.00	0.92	0.00	0.58	81.86	0.00	0.1	0.92	0.00	44.67	0.00
31	84.57	90.00	0.00	4.52	0.00	0.83	0.00	0.45	87.29	0.00	0.1	0.83	0.00	44.76	0.00
									90.00					45.59	

0.81

430.00 527.79

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

2.- Erosión Local en Pilas

Método de Yaroslavtziev

$$S_o = K_f \cdot K_v \cdot (e + K_h) \cdot V^2 / (2 \cdot g) - 30 \cdot d$$

$$K_v : L_g \cdot K_v = -0.28 \cdot (V^2 / g \cdot b^3)^{0.125}$$

Kf : Depende de la forma de la pila y el ángulo incidencia de la corriente

e : Depende de la ubicación de la pila (cauce o planicie de inundación)

$$K_h : L_g \cdot K_h = 0.17 - 0.35 \cdot H / b_1$$

d_{es} (m) : Diámetro (o diámetro equivalente) de las partículas mas gruesas

Cota Creciente (m.s.n.m)	Pila Progresiva (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Pila (m)	Kv	CONSTANTES			Diametro Equival. (m)	Erosión So (m)	Cota Final (m.s.n.m)
							Kf	e	Kh			
45.59	-9.00	37.57	8.02	0.81	0.80	0.75	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.23	37.33
45.59	23.00	37.57	8.02	0.81	0.80	0.75	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.23	37.34

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

3.- Erosión Local en Estribos

Método de K.F. Artamonov

$St = Pa \cdot Pq \cdot Pr \cdot Ho$

Pa : Depende del ángulo de incidencia de la corriente

Pq : Depende de la relación Q_j/Q

Pr : Depende del talud del estribo

$Q_j/Q = 0.03$

$Q_j/Q = 0.05$

$\alpha^\circ = 90$

Cota Creciente (m.s.n.m)	Progresiva Ero Estribo (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante		Constantes		Pr	Cota Final (m.s.n.m)	Erosión Ee (m)
			Inicial (m)	Final (m)	Pa	Pq			
45.59	-25.50	45.58	0.01	0.01	1.01	0.99	0.85	45.58	0.00
45.59	38.37	43.13	2.46	2.75	1.01	1.30	0.85	42.84	0.29

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

1.- Erosión General

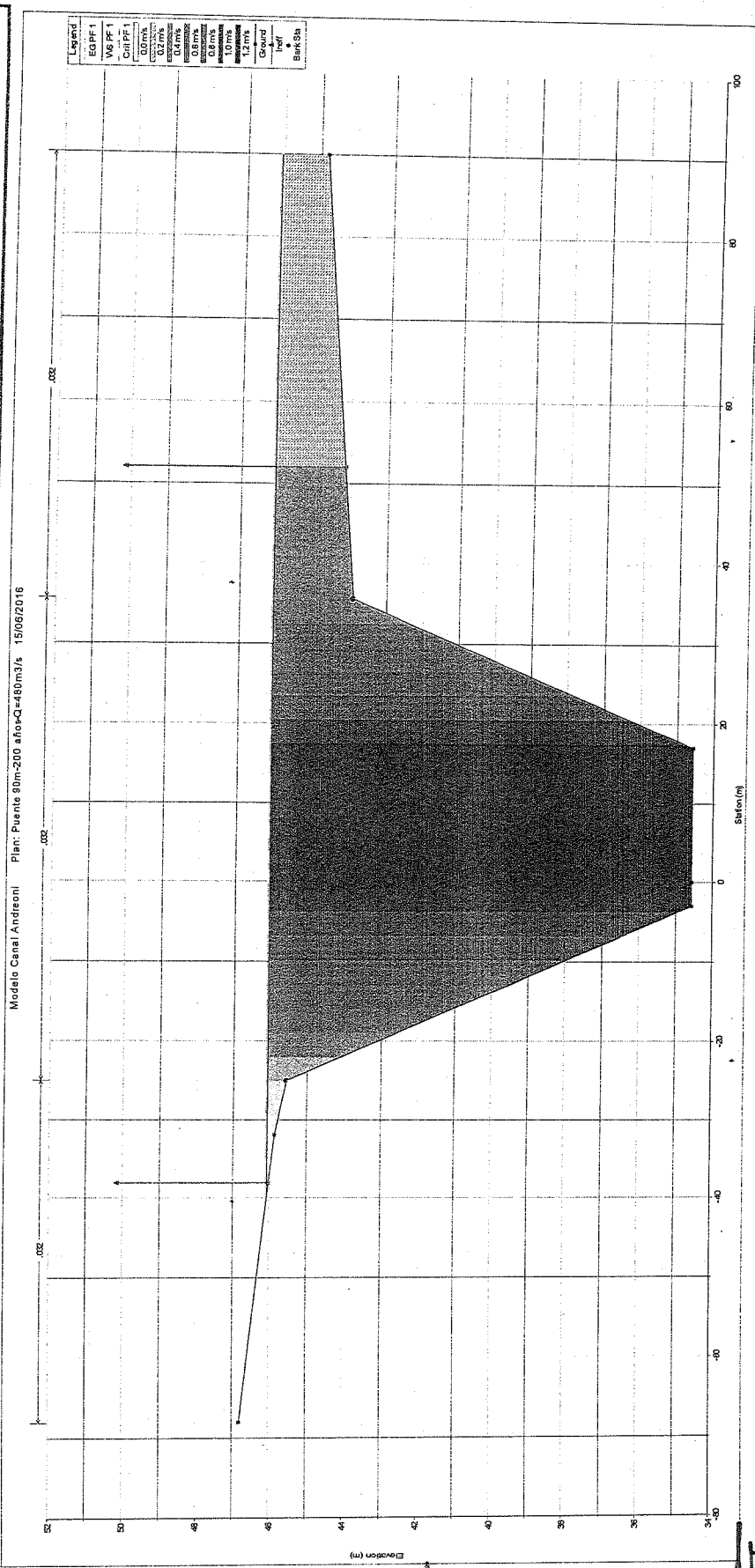
Método de L. L. Litchvan - Lebediev

DATOS	
Curso :	CANAL ANDREONI
Progresiva Sección Modelo Hidrodinámico :	-26.00
Tr (años) :	200
Q _d (m ³ /s) :	480.00
Cota Pelo Agua (m.s.n.m.) :	46.06
Tipo de Suelo :	NO COHESIVO
d _m (mm) :	0.1
γ (t/m ³) :	
PARÁMETROS DE CÁLCULO	
β =	1.02
α =	0.43

TABLA 6

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS - DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN EN ESTUDIO



[Handwritten signatures and marks]

TABLA 6

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL CON LOS DATOS DE SALIDA DEL MODELO HIDRODINÁMICO HEC-RAS

FAJA (N°)	Prog. Izq. (m)	Prog. Der. (m)	Q _i (m³/s)	A _i (m²)	Conduc. Faja (%)	h _i (m)	v _i (m/s)	τ (N/m²)	Prog. Med. (m)	q _i (m³/s/m)	d _m (mm)	h _{si} (m)	Erosión (m)	Cota Final (m.s.n.m.)	Ve (m/s)
1	-42.29	-38.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	-39.62	0.00	0.1	0.02	0.00	46.06	0.00
2	-38.00	-33.66	0.02	0.43	0.00	0.10	0.05	0.06	-35.83	0.00	0.1	0.10	0.00	46.04	0.00
3	-33.66	-29.31	0.09	0.98	0.02	0.23	0.08	0.14	-31.49	0.02	0.1	0.23	0.00	45.96	0.05
4	-29.31	-24.97	0.21	1.76	0.04	0.41	0.12	0.25	-27.14	0.05	0.1	0.41	0.00	45.83	0.09
5	-24.97	-21.94	0.92	3.81	0.19	1.26	0.24	0.70	-23.46	0.30	0.1	1.26	0.00	45.65	0.12
6	-21.94	-18.91	3.42	8.40	0.71	2.77	0.41	1.55	-20.43	1.13	0.1	2.77	0.00	44.80	0.24
7	-18.91	-15.88	7.08	13.00	1.48	4.29	0.54	2.40	-17.40	2.34	0.1	4.29	0.00	43.29	0.41
8	-15.88	-12.85	11.73	17.59	2.44	5.80	0.67	3.25	-14.37	3.87	0.1	5.80	0.00	41.77	0.54
9	-12.85	-9.82	17.27	22.19	3.60	7.32	0.78	4.10	-11.34	5.70	0.1	7.32	0.00	40.26	0.67
10	-9.82	-6.79	23.63	26.78	4.92	8.84	0.88	4.95	-8.31	7.80	0.1	8.84	0.00	38.74	0.78
11	-6.79	-3.76	30.76	31.37	6.41	10.35	0.98	5.79	-5.28	10.15	0.1	10.35	0.00	37.22	0.88
12	-3.76	-0.73	38.40	34.67	8.00	11.44	1.11	6.96	-2.25	12.67	0.1	12.06	0.62	35.71	0.98
13	0.73	2.30	39.42	34.82	8.21	11.49	1.13	7.19	0.79	13.01	0.1	12.28	0.79	34.00	1.05
14	2.30	5.33	39.42	34.82	8.21	11.49	1.13	7.19	3.82	13.01	0.1	12.28	0.79	33.78	1.06
15	5.33	8.37	39.42	34.82	8.21	11.49	1.13	7.19	6.85	12.97	0.1	12.25	0.76	33.78	1.06
16	8.37	11.40	39.42	34.82	8.21	11.49	1.13	7.19	9.89	13.01	0.1	12.28	0.79	33.81	1.06
17	11.40	14.43	39.42	34.82	8.21	11.49	1.13	7.19	12.92	13.01	0.1	12.28	0.79	33.78	1.06
18	14.43	17.46	38.86	34.76	8.10	11.47	1.12	7.05	15.95	12.83	0.1	12.16	0.69	33.90	1.05
19	17.46	20.49	31.51	31.83	6.57	10.50	0.99	5.88	18.98	10.40	0.1	10.50	0.00	35.56	0.99
20	20.49	23.52	24.31	27.24	5.06	8.99	0.89	5.03	22.01	8.02	0.1	8.99	0.00	37.07	0.89
21	23.52	26.55	17.87	22.64	3.72	7.47	0.79	4.18	25.04	5.90	0.1	7.47	0.00	38.59	0.79
22	26.55	29.58	12.25	18.05	2.55	5.96	0.68	3.33	28.07	4.04	0.1	5.96	0.00	40.10	0.68
23	29.58	32.61	7.51	13.46	1.56	4.44	0.56	2.49	31.10	2.48	0.1	4.44	0.00	41.62	0.56
24	32.61	35.64	3.75	8.87	0.78	2.93	0.42	1.64	34.13	1.24	0.1	2.93	0.00	43.13	0.42
25	35.64	41.09	4.77	11.58	0.99	2.12	0.41	1.33	36.37	0.88	0.1	2.12	0.00	43.94	0.41
26	41.09	46.55	4.43	11.08	0.92	2.03	0.40	1.27	43.82	0.81	0.1	2.03	0.00	44.03	0.40
27	46.55	52.00	4.11	10.58	0.86	1.94	0.39	1.21	49.28	0.75	0.1	1.94	0.00	44.12	0.39
28	52.00	57.43	0.00	10.04	0.00	1.85	0.00	1.16	54.72	0.00	0.1	1.85	0.00	44.21	0.00
29	57.43	62.86	0.00	9.55	0.00	1.76	0.00	1.10	60.15	0.00	0.1	1.76	0.00	44.30	0.00
30	62.86	68.29	0.00	9.05	0.00	1.67	0.00	1.04	65.58	0.00	0.1	1.67	0.00	44.39	0.00
31	68.29	73.71	0.00	8.56	0.00	1.58	0.00	0.99	71.00	0.00	0.1	1.58	0.00	44.48	0.00
32	73.71	79.14	0.00	8.07	0.00	1.49	0.00	0.93	76.43	0.00	0.1	1.49	0.00	44.57	0.00
33	79.14	84.57	0.00	7.57	0.00	1.40	0.00	0.87	81.86	0.00	0.1	1.40	0.00	44.66	0.00
34	84.57	90.00	0.00	7.08	0.00	1.30	0.00	0.66	87.29	0.00	0.1	1.30	0.00	44.76	0.00
									90.00					46.06	

480.00 565.12

0.82

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

2.- Erosión Local en Pilas

Método de Yaroslavtziev

$$So = Kf * Kv * (e + Kh) * V^2 / (2 * g) * 30 * d$$

$$Kv : Lg \quad Kv = -0.28 * (V^2 / g * b^4)^{0.05}$$

Kf : Depende de la forma de la pila y el ángulo incidencia de la corriente

e : Depende de la ubicación de la pila (cauce o planicie de inundación)

$$Kh : Lg \quad Kh = 0.17 - 0.35 * H / b^1$$

d_{85} (m) : Diámetro (o diámetro equivalente) de las partículas mas gruesas

Cota Creciente (m.s.n.m)	Progresiva Pila (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Pila (m)	Kv	CONSTANTES			Diametro Equival. (m)	Erosión So (m)	Cota Final (m.s.n.m)
							Kf	e	Kh			
46.06	-9.00	37.57	8.49	0.86	0.80	0.75	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.26	37.30
46.06	23.00	37.57	8.49	0.86	0.80	0.75	10.00	0.60	0.00	0.0024	0.26	37.30

TABLA 6

NUEVO PUENTE EN RUTA N° 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI
 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN GENERAL Y LOCALIZADA EN PILAS Y ESTRIBOS

3.- Erosión Local en Estribos

Método de K.F. Artamonov

$St = P_{\alpha} * P_q * Pr * Ho$

P_{α} : Depende del ángulo de incidencia de la corriente

P_q : Depende de la relación Q_3/Q

Pr : Depende del talud del estribo

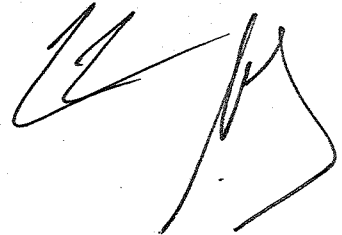
$Q_1/Q = 0.03$

$Q_3/Q = 0.05$

$\alpha^{\circ} = 90$

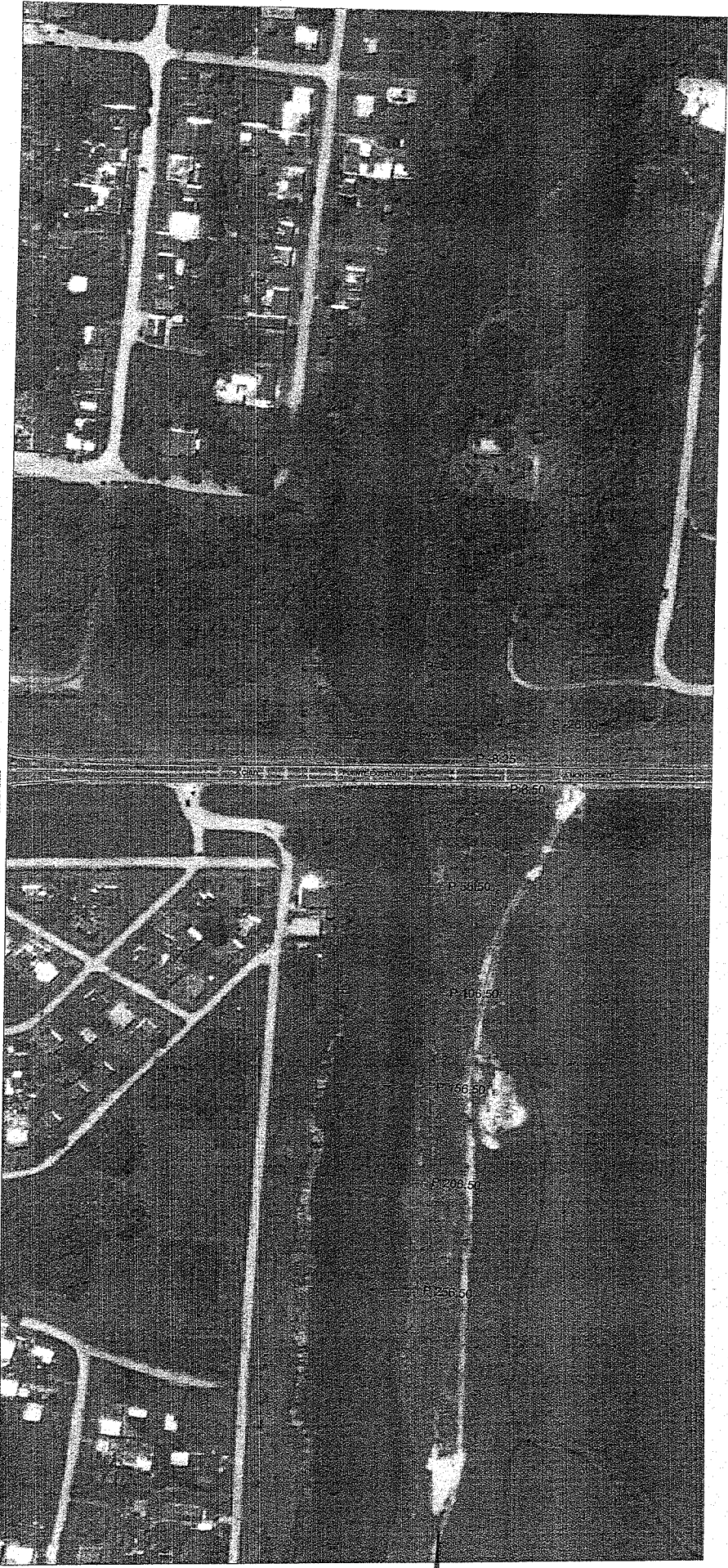
Cota Creciente (m.s.n.m)	Progresiva Ero Estribo (m)	Cota Inicial (m.s.n.m)	Tirante Inicial (m)	Pa	Constantes		Pr	Tirante Final (m)	Cota Final (m.s.n.m)	Erosión Ee (m)
					Pq	Pq				
46.06	-27.14	45.65	0.41	1.01	0.99	0.85	0.35	45.65	0.00	
46.06	38.37	43.94	2.12	1.01	1.30	0.85	2.37	43.69	0.25	

PLANOS





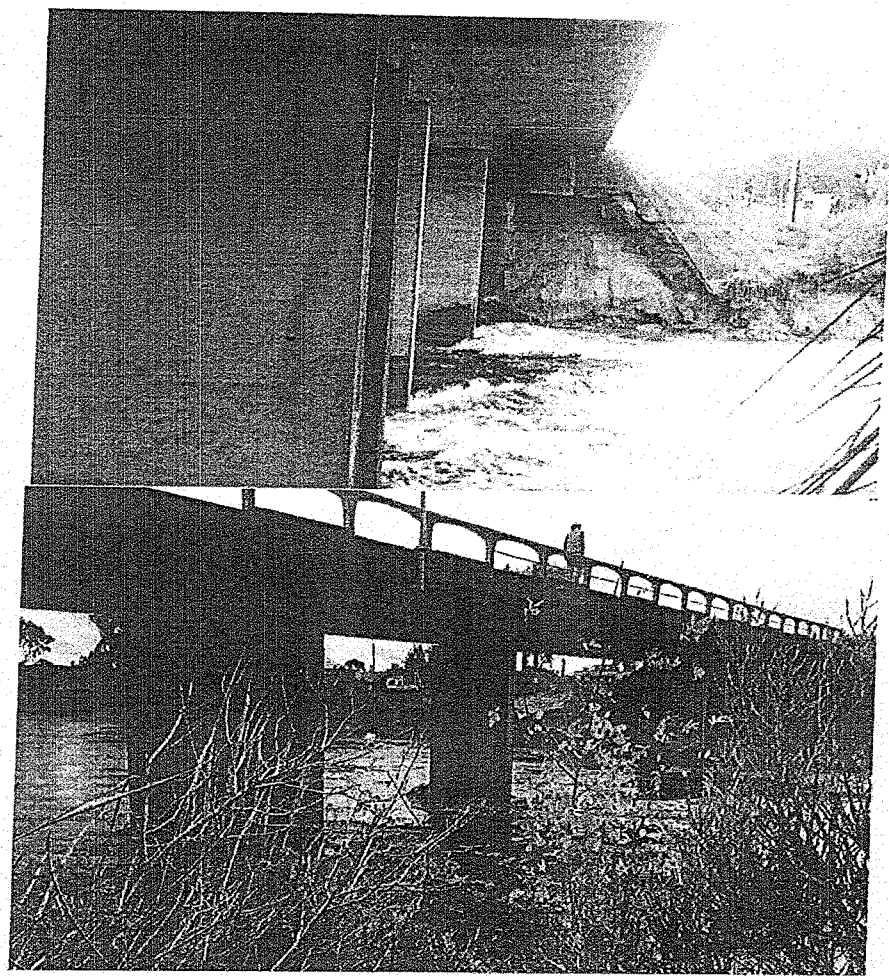
PLANIMETRÍA GENERAL
UBICACIÓN SECCIONES TRANSVERSALES
ESCALA 1:1000



Nº		REVISIÓN		E.D.A.	V.E.F.M.	PROB.	FECHA
INTESA							
PUNTE SOBRE CAÑAL ANDRÉON RIVY S. REPÚBLICA CENTRAL DEL URUGUAY ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA							
ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS				ESQUEMATIZACIÓN MODELO HIDRODINÁMICO			
PLANIMETRÍA GENERAL							
ESCALA		FECHA		PROYECTO		REV. Nº	
1:1000		JUN-2016		10516-PL-HI-PM001-A		A	
RESPONSABLE TÉCNICO: Ing. Agustín Maschino RESPONSABLE DE PROYECTO: Ing. E.P. HIPOLITO A. JOSE							

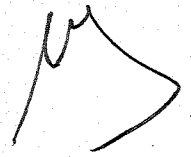
EFE ESQUEMATIZACIÓN MODELO HIDRODINÁMICO
 UBICACIÓN SECCIÓN TRANSVERSAL
P256.50
 PROGRAMA SECCIÓN TRANSVERSAL
 PERFILADO EN SECCIÓN TRANSVERSAL - TALUD 1:2H

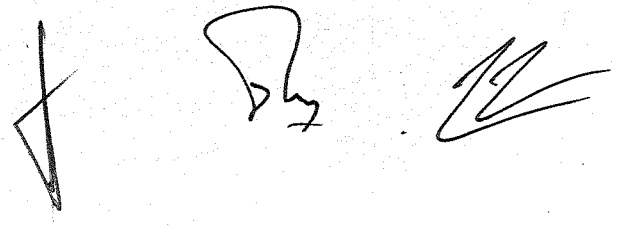
ESTIMACIÓN DE LA EROSION LOCAL DE LAS FUNDACIONES DEL PUENTE DE RUTA 9 SOBRE EL CANAL ANDREONI



Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería-Universidad de la República

Dr.Ing. Luis Teixeira
Dr.Ing. Christian Chreties

Mayo 2016 



INDICE

INTRODUCCIÓN.....3

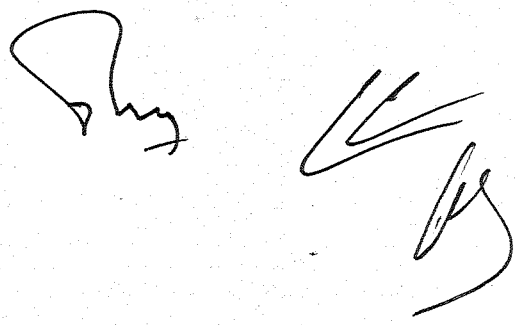
INFORMACION UTILIZADA.....4

ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DEL CANAL.....8

ESTUDIO DE EROSION GENERAL Y LOCAL EN LAS FUNDACIONES DEL
PUENTE.....10

ANÁLISIS DE RESULTADOS.....13

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....15

Handwritten signature and initials in black ink, located in the middle-right section of the page.Handwritten signature in black ink, located at the bottom center of the page.

INTRODUCCIÓN

El puente de Ruta 9 sobre el Canal Andreoni, fue construido de acuerdo al proyecto elaborado en septiembre de 1973 por el Ministerio de Obras Públicas. La longitud del puente era de 35 metros apoyado en dos pilas de sección rectangular separadas 17 m, cuya fundación estaba resuelta mediante pilotes a una profundidad de 14.50 m desde el fondo del cabezal, según consta en los planos de proyecto.

En la década de 1980, el puente fue ampliado hacia la margen derecha (Montevideo) del canal, pasando de 35 a 55 metros de longitud, con el objetivo de aumentar el área de flujo. Para ello, fue construido un nuevo estribo y una nueva pila, resueltos también con fundación profunda.

A partir de relevamientos en campo efectuados por la Dirección Nacional de Vialidad, la Dirección Nacional de Hidrografía y recientemente la empresa Techint S.A., se ha constatado la existencia de procesos erosivos del material del lecho del canal en secciones aguas arriba y aguas abajo del puente y en particular en torno a las pilas y estribos del mismo.

A raíz de la profundización de los problemas de erosión registrados con motivo del evento de crecida ocurrido en abril de 2016, la empresa Techint S.A., solicitó al Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería (IMFIA-FING-UdelaR) una estimación de las profundidades máximas de erosión local que puedan alcanzarse en los estribos y las pilas del puente. El objeto de esta estimación fue generar información que contribuyera a definir las intervenciones urgentes para la solución de los problemas aparecidos en la mencionada crecida.

El estudio desarrollado incluyó una visita al sitio el día 26 de abril, a efectos de analizar en campo la magnitud de la problemática, participar de reuniones técnicas de discusión con el personal de Techint S.A., DNV, DNH y DINAGUA; y definir los relevamientos de información de campo (pendiente hidráulica del canal, extracción y análisis de suelos, campo de velocidades, profundidades de erosión luego del evento) imprescindibles para el presente estudio.

En base a la información antecedente y los relevamientos de campo efectuados, se realizó en primer lugar un estudio hidrológico-hidráulico del Canal Andreoni a efectos de caracterizar los caudales, niveles y velocidades para diferentes recurrencias. Seguidamente se analizó el fenómeno de erosión discriminando por un lado la erosión general del canal y por otro la erosión local (estribos, pilas) así como la erosión originada por la contracción del puente.

Es imprescindible dejar en claro que el problema de erosión de fundaciones de puentes presenta una alta complejidad, ya que se trata de flujos tridimensionales turbulentos, que involucran el desarrollo de vórtices alrededor de las estructuras de fundación, combinado con transporte de sedimento. Frente a esta complejidad, el abordaje científico del problema se basa esencialmente en modelación física en laboratorio. Debe tenerse en cuenta además, que las formulaciones existentes para calcular la profundidad de erosión final fueron obtenidas en condiciones particulares de ensayo y debido a la complejidad del fenómeno, la incertidumbre de los resultados al aplicar las mismas a la realidad, es grande. A esto se agrega la dispersión existente entre los resultados proporcionados por las distintas fórmulas. Por estas razones los resultados que se presentan en este informe deben entenderse como valores de referencia, que proporcionan una cota máxima aproximada de la profundidad de erosión esperable, para las condiciones de flujo fijadas y para los materiales presentes en el lecho supuestos.

INFORMACION UTILIZADA

1- Planos de proyecto del Puento.

Se contó con los planos correspondientes al proyecto original del puente (Septiembre 1973), así como los planos del proyecto de ampliación (Octubre 1981), todos suministrados por la DNV-MTOP. En la Figura 1 se presenta el proyecto de ampliación sobre la situación original. Las cotas indicadas en la Figura 1 están referidas al cero local utilizado en el proyecto, que se ubica a cota -3.84 Wharton.

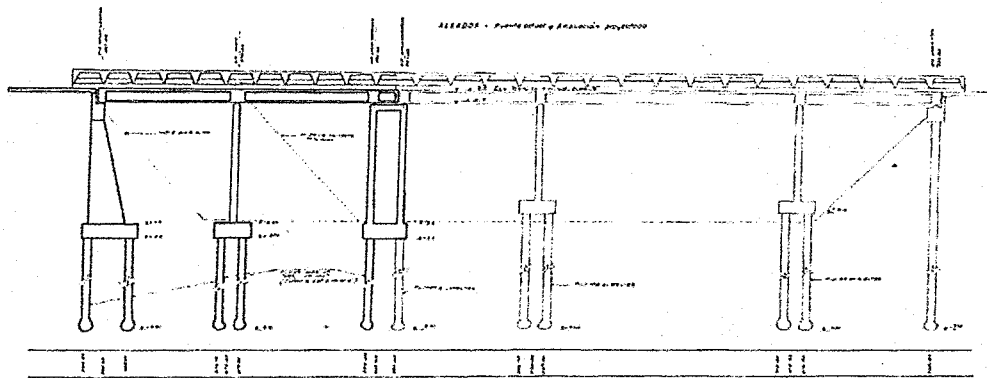


Figura 1: Proyecto original y ampliación del puente sobre el Canal Andreoni.

El proyecto original contaba con dos pilas de sección rectangular separadas 17 m entre sí y 9 m entre pila y estribo. De acuerdo a los planos, tanto para pilas como estribos la fundación era profunda mediante el conjunto pila-cabecial-pilote hasta cota local - 9.50 m. El diámetro de los pilotes es de 0.52 m en arreglo de 2x2, con separación de 1.50 m entre ejes y cuya longitud es de 14.5 m.

El proyecto de ampliación hacia margen derecha (Montevideo), construido en la década de 1980, transformó la longitud del puente de 35 m a 55 m, incorporando una nueva pila y un nuevo estribo que salvan luces de 10 y 8 metros respectivamente. Las cotas de fundación de la pila y estribo nuevos fueron iguales que las existentes.

Las cotas de fundación fueron corroboradas por la empresa Techint S.A. a partir de información suministrada por la empresa que construyó los pilotes.

2- Información hidrométrica

Se contó con información histórica de caudales diarios en la estación 149.1- Canal Andreoni-Puente Ruta 9, DINAGUA-MVOTMA, para el período 1985-2003 (Figura 2). Asimismo, se contó con un informe de la DINAGUA (Agosto 2014) donde se reportan aforos de caudal líquido realizados en los años 2000 y 2014, con su correspondiente distribución de velocidades.

Para uno de los aforos realizados las velocidades medias alcanzan los 2 m/s mientras que se midieron velocidades puntuales (promedio vertical) del orden de 2.80 m/s. Por otra parte, se dispone del campo de velocidades medido con ADCP-River Surveyor-M9 durante la visita realizada el 26/04/2016 por parte de personal de DINAGUA. El caudal aforado resultó 345 m³/s (+- 9 m³/s) y la velocidad media en la sección de medida fue 1.83 m/s (+- 0.12 m/s). La sección de medida se ubicó aproximadamente 35 m aguas arriba del puente. En la Figura 3 se presenta la distribución de velocidades medida durante la salida de campo con ADCP. En forma

complementaria a las mediciones con ADCP, el 26/04/2016 se midió la velocidad superficial en la zona aguas arriba del puente, obteniéndose 2.24 m/s.

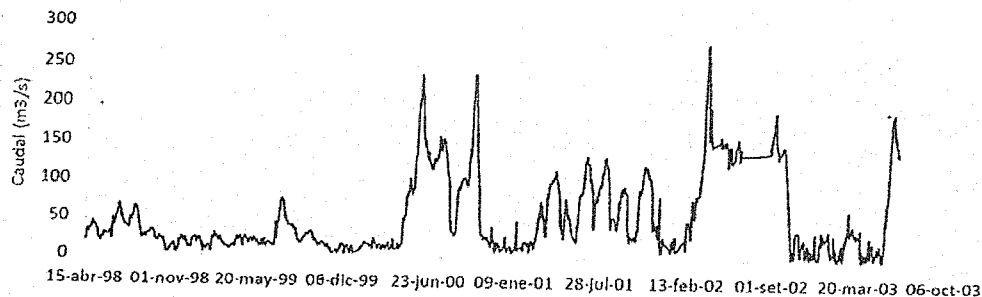


Figura 2: Serie de caudales diarios. Estación 149. 1 Canal Andreoni-Ruta 9. DINAGUA-MVOTMA.

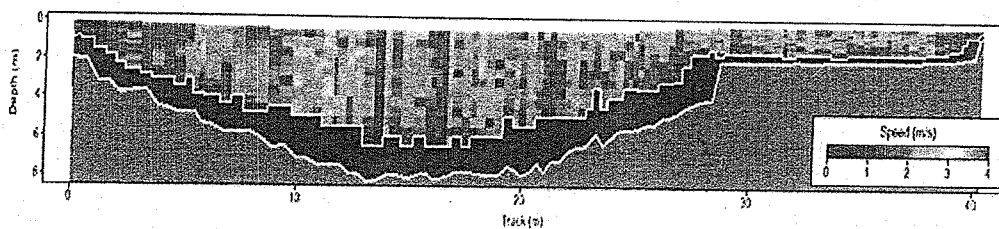


Figura 3: Distribución de velocidades medida durante la salida de campo con ADCP efectuado DINAGUA el día 26/04/2016.

3- Información batimétrica del Canal Andreoni

Se contó con una batimetría del Canal Andreoni en la zona del puente de Ruta 9, realizada en Agosto de 2014 por la DNH. La batimetría se extendió en un tramo entre 150 m aguas arriba del puente y 100 m aguas abajo. En la Figura 4 se presenta dicha batimetría, con curvas cada 1 m de equidistancia y cotas referidas al cero Wharton.

La batimetría muestra que el lecho del Canal Andreoni presenta erosión respecto a su traza original en todo el tramo medido (250 m). Si la cota de fondo del canal original (según los planos de proyecto de puente) era +4.50 m (cero local), en Agosto de 2014 la misma descendió (en varias secciones) hasta -1 m (cero local). Por su parte, se observa que la profundización del lecho ocurre hacia margen izquierda (Chuy), donde a su vez se observan mayores velocidades.

En la zona del puente se observa que el fenómeno de erosión se extiende prácticamente en toda la sección transversal, siendo siempre más importante en la margen izquierda (Chuy).

Estos elementos observados en la batimetría, son indicadores de la existencia de un fenómeno de erosión general, que actúa de manera independiente (superpuesto) a la erosión local en pilas y estribos.

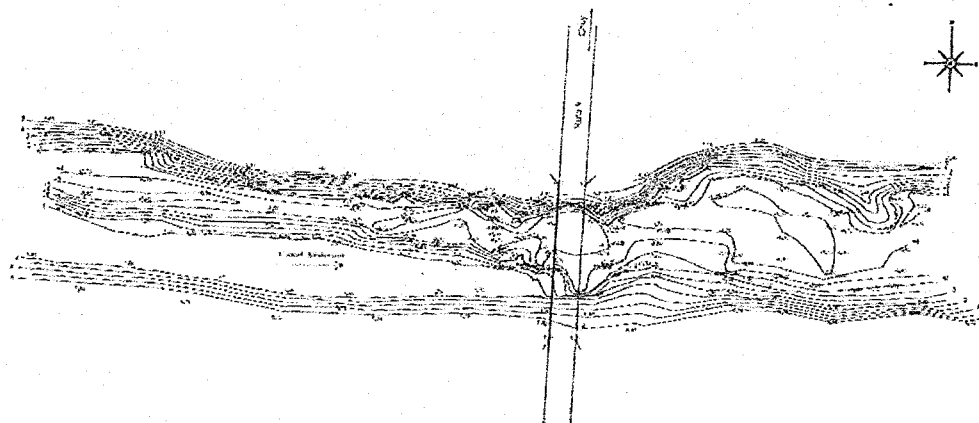


Figura 4: Batimetría zona Canal Andreoni zona del Puente de Ruta 9- Agosto 2014- DNH-MTOP. Cotas referidas al cero Wharton.

4- Información de suelos

Se contó con información de 4 perforaciones realizadas en octubre de 1967 por la DNV en el sitio de emplazamiento del puente para la elaboración del proyecto original. Conviene destacar que buena parte del perfil de suelo está compuesto por arenas finas, más allá de algunas mezclas de arenas con limos o con arcillas. Por otra parte, se solicitó a la empresa Techint S.A. la extracción de una muestra del lecho del canal existente en la actualidad así como su análisis de laboratorio. Dicha muestra fue clasificada como arena fina, con diámetro medio $d_{50} = 0.10$ mm.

5- Información relevada de profundidades de erosión

La DNV, la DNH y en el último año la empresa Techint S.A., han realizado relevamientos de profundidades de erosión frente a las pilas y estribos del puente, así como en puntos intermedios de la sección del mismo. En la Figura 5 se presenta un plano con las profundidades de erosión registradas en junio 2014 (marrón) y abril 2016 (violeta), apreciándose las zonas de mayor severidad del fenómeno.

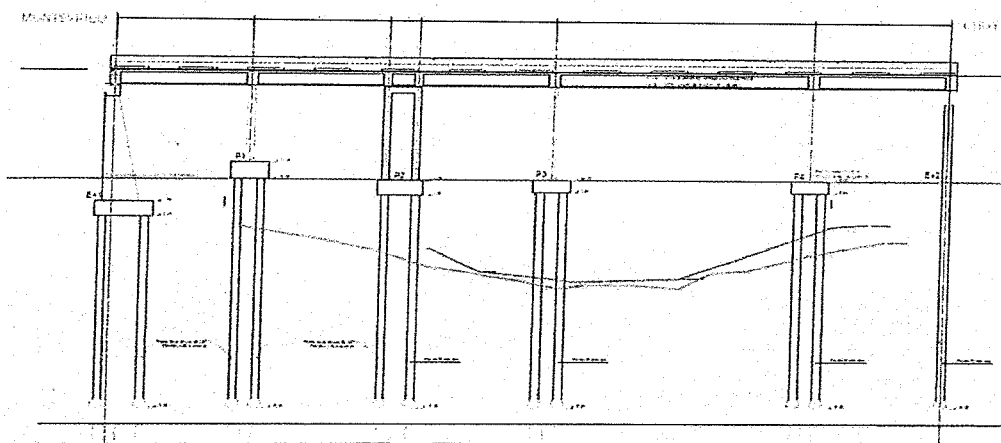


Figura 5: Profundidades de erosión relevadas junio 2014 (marrón) y abril 2016 (violeta)

Handwritten signatures and marks at the bottom of the page, including a large stylized signature on the right and several smaller marks on the left.

Para la pila más comprometida (P3), la profundidad de erosión medida en el último relevamiento, efectuado en mayo 2016, superó los 6 metros desde el fondo del cabezal de pila. En el caso del estribo de margen derecha-Montevideo- (E1), no se registra erosión, mientras que el estribo de margen izquierda-Chuy- (E2) fue erosionado, perdiéndose el recubrimiento del cuarto de cono aguas abajo y las capas de suelo que este cubría (Figura 6 arriba) . Sin embargo no se tienen medidas de la profundidad de erosión alcanzada. A posteriori del evento de abril 2016, el estribo de margen izquierda-Chuy- fue sometido a medidas de protección de la erosión local (Figura 6 abajo).

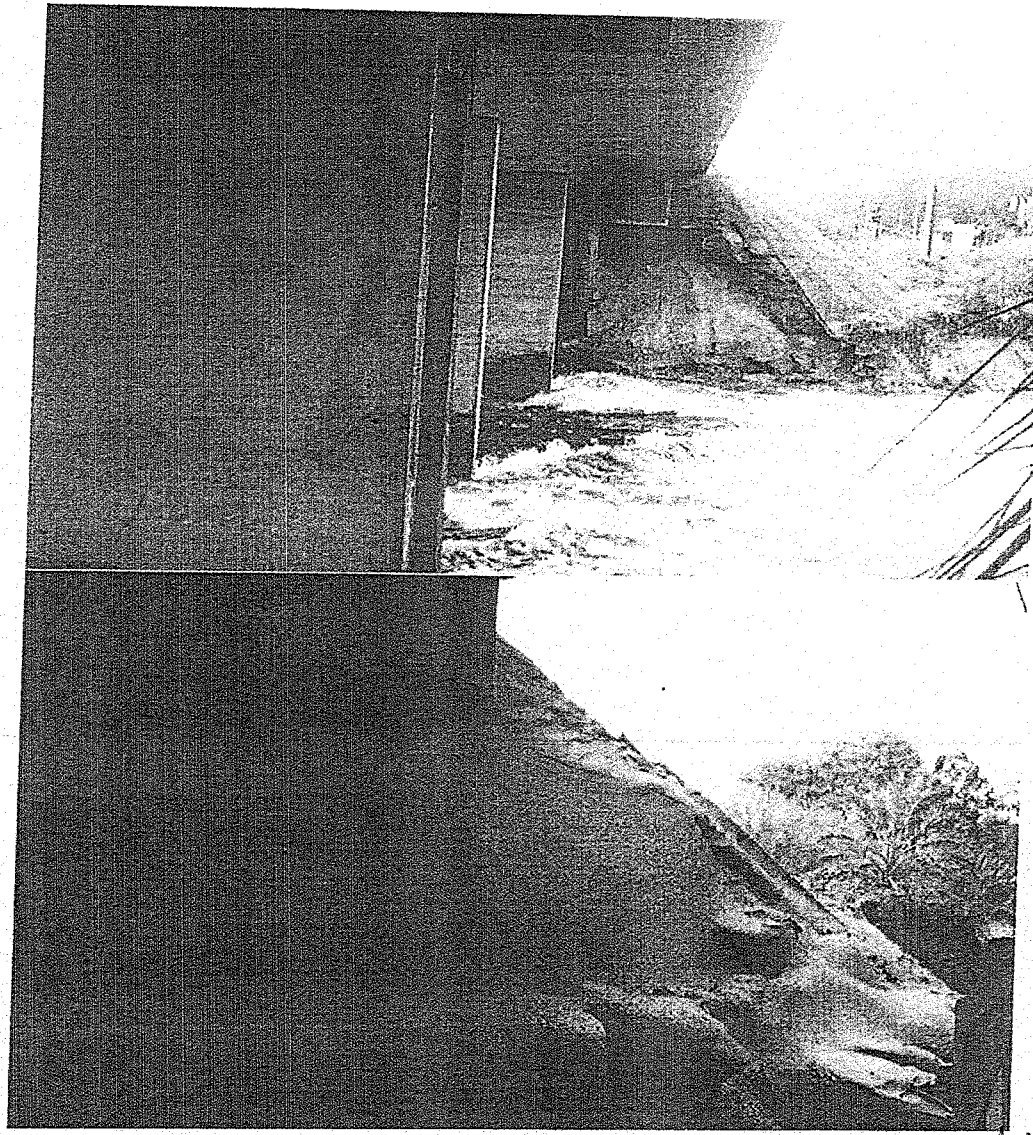


Figura 6: Estribo erosionado margen izquierda-Chuy- (arriba) y reparación efectuada por Techint S.A. como medida de urgencia (abajo).

ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DEL CANAL

Fueron caracterizados los caudales circulantes en el canal Andreoni en la zona del puente de Ruta 9, en base a los datos de la estación 149. 1 de DINAGUA. En la Tabla 1, se presentan los caudales máximos anuales registrados para el período de datos disponibles (1995-2003), agregándose el caudal medido en abril de 2016 por su gran magnitud.

Tabla 1: Caudales máximos anuales registrados

AÑO	Qmax anual (m3/s)
1995	60
1996	41
1997	49
1998	67
1999	76
2000	238
2001	135
2002	280
2003	195
2016	345

En base a dicha serie, se ajustó una función de distribución de probabilidades extremal (distribución de Gumbel), a efectos de obtener la relación entre el caudal máximo y su período de retorno. En la Tabla 2, se presentan los caudales para una serie de períodos de retorno de interés, así como los valores correspondientes al intervalo de confianza del 95%. Se evidencia que para períodos de retorno altos, la amplitud del intervalo de confianza del 95% es muy significativa, lo que se corresponde con la corta longitud de la serie base de observaciones (9 años).

Tabla 2: Caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno

Período de Retorno (años)	Caudal máximo -95% (m ³ /s)	Caudal máximo (m ³ /s)	Caudal máximo+95% (m ³ /s)
1.1	19	34	48
1.5	47	94	140
2	64	129	194
5	105	216	326
10	132	273	414
25	167	346	525
50	192	400	608
100	217	453	689

Asimismo, se determinó el caudal medio de la serie de registro, resultando 24 m³/s y el caudal dominante promedio que resultó 73 m³/s. El caudal dominante se define como aquel que si circulara en forma constante los 365 días del año, produciría el mismo transporte de sedimento anual que la serie real (variable) de caudales diarios. El mismo fue calculado mediante la formulación de Komura, utilizando la serie de datos registrados de caudal.

Handwritten signatures and marks at the bottom of the page, including a large stylized signature on the right and several smaller marks on the left.

El interés de calcular el caudal dominante en el Canal Andreoni es a efectos de caracterizar la erosión general del canal que está vinculada a los procesos de transporte de sedimento en el canal y no a los efectos localizados asociados a las fundaciones.

Una vez determinados los caudales de interés, se implementó un modelo numérico hidráulico del último tramo del canal en base al código computacional HEC-RAS 5.0 del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos. Se realizaron simulaciones en régimen estacionario, resolviendo mediante el código mencionado (unidimensional) la ecuación de Flujo Gradualmente Variado en el canal a efectos de determinar para cada caudal, las velocidades y niveles de agua en el mismo.

Se utilizó la información topográfica del canal que figura en los planos de proyecto y su evolución en base a la información de perfiles y batimetría relevada en campo. Las condiciones de borde fijadas fueron caudal aguas arriba y nivel del mar aguas abajo. Este último se fijó en un nivel de 0.8 m (Wharton).

Los coeficientes de rugosidad del modelo fueron calibrados y validados en base a los aforos realizados por la DINAGUA-MVOTMA. Los aforos realizados en Octubre y Diciembre de 2000 fueron utilizados para calibrar, mientras que el aforo realizado en Abril de 2016 se utilizó para validar. En la Tabla 3 se presentan los datos observados y los resultados de la calibración y validación del modelado para cada uno de los aforos.

Tabla 3: Resultados del ajuste del modelo hidráulico

Fecha	Caudal observado (m3/s)	Nivel observado (m)	Nivel simulado (m)	Vmedia observada (m/s)	Vmedia simulada (m/s)
Octubre 2000	240	3.65	3.57	2.00	1.97
Diciembre 2000	15	1.35	1.27	0.60	0.47
Abril 2016	345	No data		1.95	2.2

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el modelo representa adecuadamente tanto las velocidades medias en la sección como los niveles de agua, para el objetivo perseguido. El coeficiente de rugosidad de Manning resultante fue 0.028. En base al modelo hidráulico calibrado, fue posible obtener para cada caudal de interés, las velocidades medias y profundidades de flujo asociadas en la zona de aproximación al puente y en la propia sección del puente. Sobre la base de estos resultados se estiman las profundidades de erosión, tal como se presenta a continuación.

ESTUDIO DE EROSION GENERAL Y LOCAL EN LAS FUNDACIONES DEL PUENTE

Los fenómenos de erosión local y general son de distinta naturaleza. En el caso de la erosión general, esta se produce cuando las tensiones de corte en el canal generadas por la corriente de agua son mayores que las tensiones máximas admisibles del material que compone el canal. Este fenómeno no está asociado a la existencia de una estructura en el lecho, sino que se corresponde con un diseño insuficiente de la sección del canal para los caudales circulantes. Se trata de un fenómeno cuya escala espacial es extendida a lo largo del canal.

Por su parte, el fenómeno de erosión local está asociado a la pérdida de material del lecho (descenso del lecho) en torno a la estructura como consecuencia de la generación de vórtices asociados a la interacción entre el flujo y la estructura. Se trata de un fenómeno que tiene escala espacial localizada.

Asociado a la existencia de un puente, también puede ocurrir el fenómeno de erosión local por la contracción de la sección (erosión por contracción) de flujo bajo el puente. Este fenómeno es de escala espacial localizada, pero se debe al aumento de las tensiones que el flujo ejerce en el fondo del canal a consecuencia de la reducción de la sección. En caso que estas tensiones superen las tensiones máximas admisibles del material que compone el fondo, se producirá la erosión por contracción.

En el caso del puente sobre el Canal Andreoni, fueron calculados por varios métodos tanto la erosión general en el canal, como la erosión por contracción en la sección del puente así como la erosión local en pilas y estribos del mismo. Para ello se consideraron dos situaciones: 1) Situación de proyecto de ampliación 1981 y 2) Situación actual que incluye el puente con el estribo protegido y el perfil del lecho erosionado. A continuación se presentan las formulaciones empleadas en cada caso y los resultados obtenidos.

Erosión General

Se determinó la profundidad en régimen de erosión general que podría registrarse en el Canal Andreoni si circulara en forma constante un determinado caudal Q por el canal. Para ello, fueron implementadas las formulaciones de: Lacey (1930); Blench (1969) y Maza Alvarez (1973), para los caudales característicos definidos en el canal. En las Tabla 4 y 5, se presentan los resultados para las 3 formulaciones consideradas para la sección del canal correspondiente al proyecto original del puente y situación actual respectivamente.

Tabla 4: Estimación de erosión general en el canal (Sección proyecto 1981)

Tr(años)	Caudal (m ³ /s)	v(m/s)	Lacey (1930) ys (m)	Blench (1969) ys (m)	Alvarez Mazza (1973) ys (m)
100	453	2.48	4.4	8.9	8.5
50	400	2.36	4.23	8.18	8.04
10	273	2.02	3.72	6.34	6.06
Caudal dominante	73	1.19	2.4	2.63	2.39

Tabla 5: Estimación de erosión general en el canal (Sección actual)

Tr(años)	Caudal (m³/s)	v(m/s)	Lacey (1930) ys (m)	Blench (1969) ys (m)	Alvarez Mazza (1973) ys (m)
100	453	2.33	4.4	9.35	10.8
50	400	2.15	4.22	9.82	8.6
10	273	1.61	3.72	6.68	7.27
Caudal dominante	73	0.47	2.39	2.77	2.58

Erosión local en pilas y estribos

Para la estimación de la profundidad máxima de erosión en pilas se consideraron las formulaciones de Melville (1997), CSU-HEC-18 (1995) incluida en el manual del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos y la formulación de Breusers (1991). En las Tabla 6 y 7, se presentan los resultados para las 3 formulaciones consideradas para la sección del canal correspondiente al proyecto original del puente y situación actual respectivamente. Conviene destacar que las formulaciones de Melville y Breusers no son sensibles a las velocidades de flujo cuando la profundidad de flujo relativa al diámetro de la pila es importante. Dadas las incertidumbres en la estadística de caudales, se incluyen los valores correspondientes al límite superior del intervalo de confianza, denotados: 100+, 50+ y 10+.

Tabla 6: Estimación de erosión local en pilas (Sección proyecto 1981)

Tr(años)	Caudal (m³/s)	v(m/s)	Melville (1997) ys (m)	CSU-HEC-18 (1995) ys (m)	Breusers (1991) ys (m)
100+	689	2.92	1.25	1.58	1.2
100	453	2.48	1.25	1.43	1.2
50+	608	2.78	1.25	1.53	1.2
50	400	2.36	1.25	1.39	1.2
10+	414	2.39	1.25	1.4	1.2
10	273	2.02	1.25	1.26	1.2
Qdom. (1.4 años)	73	1.19	1.25	0.91	1.2
Qmedio (< 1 año)	24	0.75	1.25	0.68	1.2

Tabla 7: Estimación de erosión local en pilas (Situación actual)

Tr(años)	Caudal (m³/s)	v(m/s)	Melville (1997) ys (m)	CSU-HEC-18 (1995) ys (m)	Breusers (1991) ys (m)
100+	689	2.94	1.25	1.68	1.2
100	453	2.33	1.25	1.49	1.2
50+	608	2.77	1.25	1.63	1.2
50	400	2.15	1.25	1.44	1.2
10+	414	2.2	1.25	1.45	1.2
10	273	1.61	1.25	1.26	1.2
Qdom. (1.4 años)	73	0.47	1.25	0.74	1.2
Qmedio (< 1 año)	24	0.16	1.25	0.4	1.2

Por su parte, para la estimación de la profundidad máxima de erosión en estribos se consideraron las formulaciones de Melville (1997) y CSU-HEC-18 (1995). En las Tabla 8 y 9, se presentan los resultados para las 2 formulaciones consideradas para la sección del canal correspondiente al proyecto original del puente y situación actual respectivamente. Al igual que en el caso de las pilas, la formulación de Melville no es sensible a las velocidades de flujo cuando la profundidad de flujo relativa al diámetro de la pila es importante.

Tabla 8: Estimación de erosión local en estribos (Sección proyecto 1981)

Tr(años)	Caudal (m³/s)	v(m/s)	Melville (1997) ys (m)	CSU-HEC-18 (1995) ys (m)
100+	689	2.92	4	3.47
100	453	2.48	4	2.88
50+	608	2.78	4	3.38
50	400	2.36	4	2.83
10+	414	2.39	4	2.95
10	273	2.02	4	2.49
Qdom. (1.4 años)	73	1.19	3.4	1.32
Qmedio (< 1 año)	24	0.75	2.5	0.94

Tabla 9: Estimación de erosión local en estribos (Situación actual)

Tr(años)	Caudal (m³/s)	v(m/s)	Melville (1997) ys (m)	CSU-HEC-18 (1995) ys (m)
100+	689	2.94	4	3.78
100	453	2.33	4	3.56
50+	608	2.77	4	3.91
50	400	2.15	4	3.36
10+	414	2.2	4	3.35
10	273	1.61	4	2.63
Qdom. (1.4 años)	73	0.47	4	1.18
Qmedio (< 1 año)	24	0.16	2.43	0.61

Erosión por contracción

Se estimó la profundidad máxima de erosión por contracción en la sección del puente a partir de la aplicación de la formulación de Laursen adaptada y presentada en Breusers (1991). Dicha formulación tiene en cuenta fundamentalmente el ancho de base del canal de aproximación al puente aguas arriba y el ancho de base de la sección de pasaje del flujo en el puente. En el peor escenario de caudales circulantes (Tr= 100+ años), la profundidad máxima de erosión por contracción resulta 0.4 m para situación de proyecto original y 0.65 m para la situación actual.

Estos valores acotados de profundidad de erosión por contracción, son coherentes con la reducida contracción que provoca el puente en la sección.

Todos los valores presentados tanto para erosión general, contracción y local asumen que los caudales considerados circulan de manera constante y durante un tiempo indefinido en el canal.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos, se desprende la existencia de un fenómeno erosivo de base muy significativo correspondiente a la erosión general en el canal. La batimetría realizada en 2014 en 250 m de canal, así como la visible erosión de márgenes del canal tanto aguas arriba como aguas abajo del puente (Figura 7), sustentan este resultado. Las tensiones máximas admisibles en el canal para los materiales del lecho existentes están en el orden de 3.4 N/m^2 , mientras que las tensiones de fondo inducidas por la corriente, incluso para el caudal medio (< 1 año de recurrencia), son del orden del doble del valor admisible. Estos elementos ponen de manifiesto que las dimensiones de la sección del canal (independientemente de la existencia del puente) son insuficientes para conducir los caudales circulantes sin generar transporte de sedimento generalizado.



Figura 7: Margen del canal aguas abajo del puente erosionada

Los caudales característicos que circulan en el Canal Andreoni y sus variaciones temporales, son propios de cauces fluviales naturales con secciones compuestas por un canal central y una planicie de inundación que en su conjunto ofrecen un área de flujo muy superior a la del canal en situación de crecida. En efecto, las velocidades, independientemente de la existencia del puente, son superiores a las registradas en los cauces naturales del país.

En estas condiciones de desequilibrio fluvial, el canal erosiona sus márgenes y profundiza el lecho a efectos de ampliar la sección de flujo, tendiendo en forma progresiva hacia una nueva situación de equilibrio alcanzable en escala temporal de mediano y largo plazo. En otras palabras, el Canal Andreoni, desde el punto de vista fluvial está iniciando su dinámica geomorfológica, a diferencia de los cauces naturales del País que se encuentran en un alto nivel de maduración y equilibrio dinámico.

Cuantitativamente, las formulaciones muestran un piso de erosión por contracción de 3 m de profundidad, alcanzándose valores superiores en la medida de tener años con varios episodios de recurrencia mayor a 2 años.

Como se comentó antes, el fenómeno de erosión por contracción si bien existe es acotado como consecuencia de la poca reducción de la sección del flujo en el puente. Cuantitativamente es razonable pensar que este fenómeno contribuye con 0.5 m de profundidad.

A [Handwritten signature]

Para el caso de la erosión local en pilas, las estimaciones tienen un piso de 1.5 m de profundidad, mientras que en estribos, la misma conclusión lleva a un piso de 4 m.

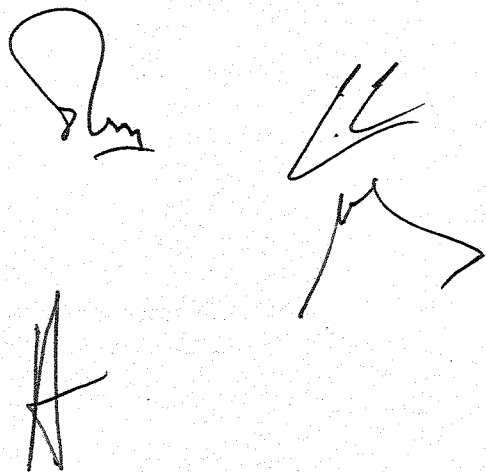
Estos resultados tienen en cuenta que la velocidad en la sección es uniforme. Sin embargo, tanto las mediciones de velocidad superficial como los resultados del aforo con ADCP muestran que frente a la Pila 3, existe una concentración de velocidades de casi un 50% de la velocidad media, en detrimento de las velocidades frente al estribo en margen derecha (Montevideo). Esto lleva tanto un aumento en la erosión local de pilas y en segundo lugar estribo de margen izquierda (Chuy), como en un aumento diferencial de la erosión general.

La integración de los resultados y la distribución diferencial de las profundidades de erosión por la distribución de velocidades, permiten concluir que es razonablemente esperable que la erosión de equilibrio esté entre 7 y 10 metros tanto para el caso de los estribos (especialmente margen izquierda-Chuy) como para las pilas (especialmente la pila 3).

Los valores de erosión calculados, así como las profundidades de erosión registradas en campo ponen de manifiesto que tanto el proceso de erosión local como la erosión general del canal están en pleno desarrollo, siendo esperable el aumento progresivo de la profundidad de erosión.

Frente a esta situación se estudió el efecto sobre las profundidades de erosión de una ampliación del puente correspondiente con un aumento de 20 metros de fondo de canal hacia margen izquierda (Chuy). De esta forma, se lograrían velocidades medias superiores a 1 m/s para eventos superiores a 50 años de período de retorno disminuyendo en forma significativa la erosión general, eliminando prácticamente la erosión por contracción y reduciendo en forma más leve la erosión local. En esas circunstancias, la erosión máxima integrada estaría más cercana al piso de los 7 m que a los 10 m.

Cualquier ampliación de la sección del puente debe incluir necesariamente una zona de transición de al menos 150 m de longitud, tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo. La no inclusión de esta zona, provocaría que el flujo esté concentrado en la zona de pasaje actual, dejando frente a la ampliación una zona de velocidad despreciable (flujo muerto), perdiéndose por completo el efecto de la ampliación. Los valores de reducción de velocidad y erosión expuestos en el párrafo anterior dan por hecho la existencia de la zona de transición.

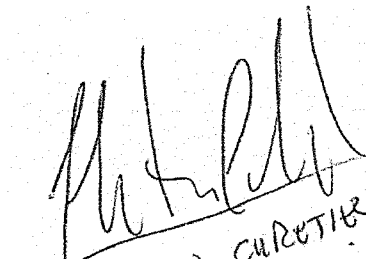


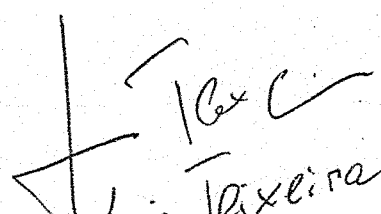
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En virtud del análisis realizado, se recomienda:

Considerar que en la situación actual del puente, el proceso erosivo está en pleno desarrollo y puede llegar razonablemente a profundidades de erosión de entre 7 y 10 metros.

- Frente a esta situación se recomienda considerar una ampliación significativa de la longitud del puente hacia margen izquierda (Chuy) y la consecuente ampliación de la sección del canal. A partir de una valoración preliminar, se entiende que el mínimo de ampliación del fondo del canal es de 20 m.
- Una posible ampliación de la sección del puente en margen derecha (Montevideo), como medida previa a mayores trabajos, también podrá contribuir a la disminución de las velocidades medias.
- Debido a que el principal problema de erosión es la erosión general en el canal, la ampliación del puente sin la implementación de una zona de transición o aproximación de al menos 150 m aguas arriba y aguas abajo, no tendrá ningún efecto.
- Como se indicó en la introducción de este informe, es imprescindible dejar en claro que los resultados que se presentan en este informe deben entenderse como valores de referencia, que proporcionan aproximaciones de la profundidad de erosión esperable, para las condiciones de flujo fijadas. Por estos motivos se recomienda implementar un monitoreo de seguimiento del fenómeno erosivo tanto en el escenario actual como en un escenario de puente ampliado.
- Se señala que, tal como se mencionara en la introducción de este informe, la metodología empleada en el análisis realizado, responde a la necesidad de tener resultados urgentes frente a los graves problemas de erosión desencadenados en la crecida de abril de 2016. Una solución a largo plazo para la problemática de erosión en el entorno del puente del Canal Andreoni, merecería un análisis de mayor profundidad, que incluyera, presumiblemente, la conveniencia de modelación física de los fenómenos de evolución del canal y las posibles medidas para contrarrestar los fenómenos de erosión local.


 MAXIMILIANO CURATIUS


 Luis Teixeira

