APÉNDICE 1
ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

1 Estudio Hidrológico del Estero El Paico

1.1 Antecedentes Disponibles

Los antecedentes utilizados corresponden básicamente a estadísticas pluviométricas (precipitaciones máximas anuales en 24 horas) que se obtuvieron de estudios realizados para la Dirección General de Aguas y la Dirección de Meteorología de Chile, y de los registros solicitados a estas instituciones.

Los estudios considerados son los siguientes:

- "Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días ", D.G.A Ministerio de Obras Públicas. Chile, 1991.
- "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago", actualmente en ejecución por CADE IDEPE. DOH-MOP (Septiembre del 2000).
- "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago – Ampliación Zona Norte- Estero las Cruces", actualmente en ejecución por CADE IDEPE. DOH-MOP (Septiembre del 2000).
- "Estudio de Ingeniería. Concesión Internacional Transporte Ferroviario de Cercanías Santiago-Melipilla". CADE IDEPE (Mayo del 2001).

1.2 Análisis Estadístico de la Información Pluviométrica

1.2.1 Información Pluviométrica Disponible

Las estaciones pluviométricas consideradas en el estudio se muestran en la Tabla adjunta y se presenta su situación respecto del trazado en el plano presentado dentro del apéndice de planos:

Tabla N°1. Estaciones Pluviométricas Consideradas.

NOMBRE ESTACION	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (msnm)	INSTITUCION A CARGO	TIPO DE ESTACION
Embalse Rungue	33°01' S	70°54' W	750	DGA	Pluviométrica
Embalse Huechún	33°05' S	70°48' W	570	DGA	Pluviométrica
Valle Hermoso Fundo	33°17' S	70°40' W	540	DMC	Pluviométrica
Polpaico	33°08' S	70°52' W	540	DMC	Pluviométrica
Esmeralda de Colina	33°14' S	70°41' W	570	DMC	Pluviométrica
Pudahuel	33°23' S	70°47' W	476	DMC	Pluviométrica
Quinta Normal	33°26' S	70°41' W	520	DMC	Pluviométrica
Terraza DGA	33°26' S	70°39' W	560	DGA	Pluviométrica
Tobalaba	33°27' S	70°33' W	654	DMC	Pluviométrica
La Florida	33°32' S	70°33' W	665	DMC	Pluviométrica
Los Cerrillos	33°30' S	70°42' W	512	DMC	Pluviométrica
El Bosque	33°33' S	70°41' W	558	DMC	Pluviométrica
San Bernardo	33°36' S	70°42' W	568	DMC	Pluviométrica
Carmen de las Rosas	33°46' S	71°10' W	165	DGA	Pluviométrica
Melipilla	33°42' S	71°13' W	200	DGA	Pluviométrica

1.2.2. Ajuste, Corrección y Relleno de la Estadística Pluviométrica

En este acápite se han tomado los valores del "Estudio de Ingeniería Concesión Internacional de Transporte Ferroviario de Cercanías Santiago-Melipilla" describiendo el procedimiento seguido para los análisis de consistencia y/o complementación de las estadísticas pluviométricas de toda el área en estudio.

Para lo anterior se utilizó el Método de las Curvas dobles acumuladas o Curvas másicas, cuyo procedimiento se describe a continuación:

1. Cálculo del Patrón de Precipitaciones: Se adoptó una estación patrón, que abarca el período correspondiente a 1941-1998 (58 años), el cual se considera adecuado para los fines propuestos. Esta Estación Patrón se obtuvo a partir de aquellas estaciones con mayor longitud de registro, siendo las seleccionadas Quinta Normal, La Florida, Tobalaba y Carmen de las Rosas.
2. Comparación de las Estaciones Componentes y la Estación Patrón: Se verificó gráficamente y se corrigió, cuando era necesario, la constante de proporcionalidad de cada una de las estaciones antes señaladas.
3. Corrección, Extensión y Análisis de las Estadísticas de las Restantes Estaciones Pluviométricas: Se extendió y rellenó la estadística de precipitaciones de las restantes estaciones seleccionadas para la validación del mapa de isoyetas de Santiago presentado en el estudio de la Dirección de Aguas – MOP-1991 "Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días". Estas son Embalse Rungue, Embalse Huechún, Valle Hermoso Fundo, Polpaico, Esmeralda de Colina, Pudahuel, Los Cerrillos, El Bosque, San Bernardo, Carmen de las Rosas y Melipilla.

En el procedimiento de relleno y extensión de las estadísticas primero se calcula, con la información original, la media aritmética y la desviación estándar, según lo siguiente:

$$\text{Media aritmética } m = \frac{\sum p_i}{n}$$

$$\text{Desviación estándar } S_{n-1} = \sqrt{\sum \frac{(p_i - m)^2}{n-1}}$$

Donde:

pi: Precipitación registrada en el año i (mm)
n: Número de años con información.
m: Media del período con información (mm).
Sn-1: Desviación Estándar del período con información (mm).

A partir de la razón entre la media de la estación k y la media de la estación patrón, para el período observado, se completa la estadística de la estación k, de tal forma que la media de largo plazo de la estación corregida respecto a la estación patrón, mantiene la misma relación. Es decir, se aplica la siguiente expresión:

$$p_{jk} = \frac{p_{jp} * m_k}{m_p} = \frac{p_{jp} * m_{kl}}{m_{pl}}$$

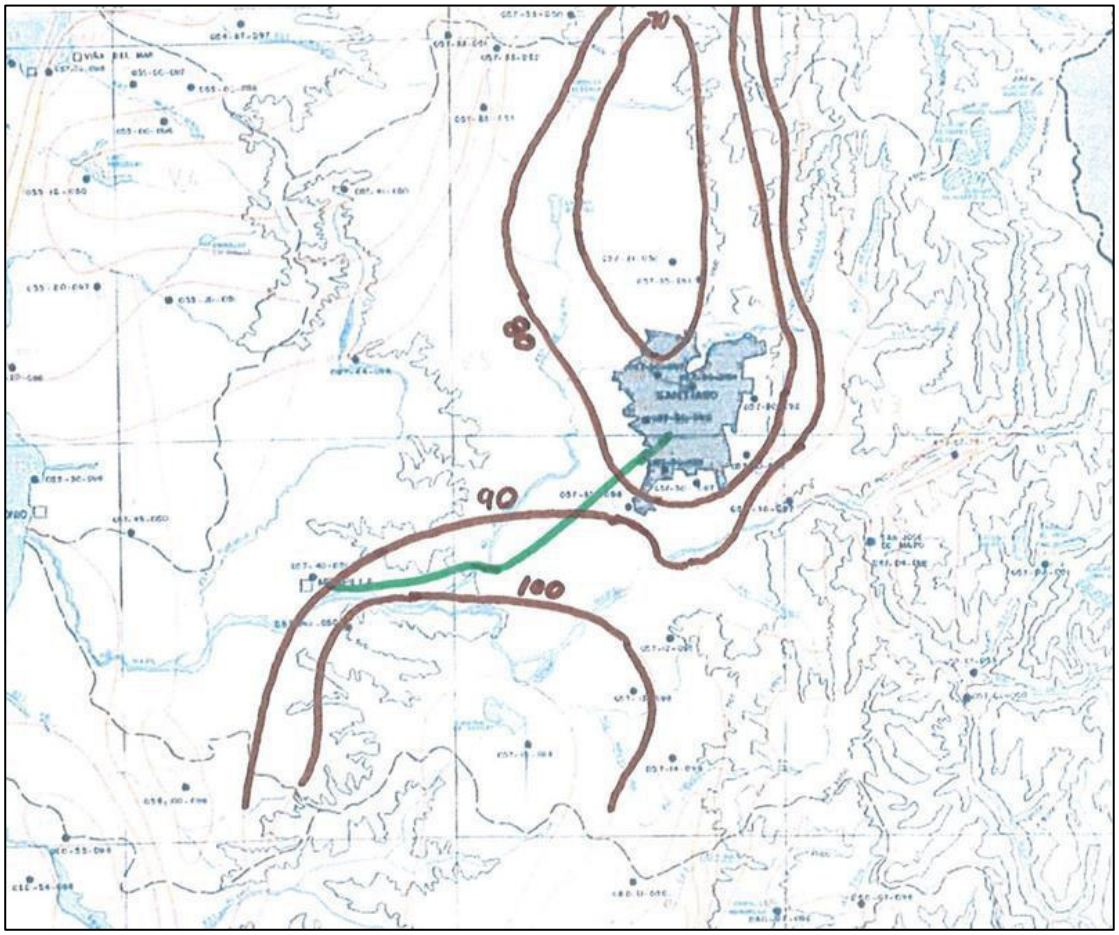


Figura N° 1. Curvas de Isoyetas del MOP.-DGA

Donde:

pjk : Precipitación no registrada en el año j en la estación k, a rellenar o extender (mm).
pjp : Precipitación del año j en la estación patrón (mm).
mk : Media de la estación k en el período con información (mm).
mp : Media de la estación patrón en el período con información (mm).
mkl : Media corregida de la estación k en el período 1941-1998 (mm).
mpl : Media de la estación patrón en el período 1941-1998 (mm).

En las páginas siguientes se presenta la tabla que contiene las precipitaciones máximas anuales en 24 horas definitivas de todas las estaciones consideradas, incluyendo aquellas con estadísticas extendidas, corregidas y completadas.

Estas tablas se han completado con los valores disponibles hasta la fecha y que han sido facilitados por la Dirección Meteorológica de Chile.

1.2.3 Análisis de Frecuencia

Una vez completadas las estadísticas de las precipitaciones en 24 horas, se establecerá una correspondencia entre la magnitud de la tormenta y su frecuencia.

En primer lugar, se ordenan las precipitaciones máximas diarias anuales obtenidas, de mayor a menor, designando con "m" el número de orden asignado a cada precipitación, y con "N" el total de datos de la estadística.

Luego la probabilidad de excedencia (P) de que esa precipitación sea igualada o superada queda definida, en porcentaje, por la expresión de Weibull:

$$P = \frac{100\,m}{N+1}$$

Se define el período de retorno “T” como el valor inverso de la probabilidad de excedencia.

$$T = \frac{1}{P}$$

A los valores de precipitación máxima en 24 horas y al correspondiente período de retorno asociado, se le ajustó un modelo probabilístico de Valores Extremos Tipo I o distribución de Gumbel para extrapolar la información a distintos períodos de retorno. Esta función de distribución acumulada está dada por la expresión:

$$p = e^{-e^{-a(x-u)}}$$

Así:

$$p = u - \frac{1}{a}\left(\ln\left(-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right)\right)$$

En que:

$$a = \left(\frac{S_n}{S_x}\right) \quad y \quad u = \overline{x} - S_x \frac{Y_n}{S_n}$$

Tabla N°2. Estadísticas Definitivas - Precipitaciones Máximas Anuales en 24 h

Año	Qta Normal	Terraza	Pudahuel	Cerrillos	Tobalaba	La Florida	El Bosque	S Bernardo
1941	66.0	97.9	84.0	64.4	90.0	66.0	67.0	79.5
1942	46.0	51.5	44.2	45.2	47.0	69.0	47.0	40.0
1943	25.0	50.0	30.7	24.3	30.0	38.0	25.8	19.5
1944	51.0	63.0	58.7	47.0	63.0	77.0	49.0	63.0
1945	53.2	77.0	55.7	52.1	60.0	81.0	54.3	60.0
1946	29.3	53.0	29.2	28.7	32.0	50.0	29.9	32.0
1947	39.3	41.0	35.4	38.5	41.0	52.0	40.1	42.0
1948	49.2	55.0	49.4	42.2	43.0	63.0	44.0	62.0
1949	55.0	53.0	67.1	53.9	76.0	80.0	56.1	76.0
1950	61.7	53.3	45.7	60.5	47.0	53.0	62.9	65.0
1951	34.0	51.9	44.5	33.3	42.5	41.5	34.7	35.0
1952	43.3	50.3	43.1	42.4	39.6	52.8	44.2	32.1
1953	76.1	88.8	76.1	74.6	66.0	76.0	77.6	100.0
1954	40.7	46.8	40.1	39.9	45.0	52.0	41.5	46.7
1955	20.8	36.3	31.1	20.4	33.0	39.0	21.2	61.5
1956	43.5	43.0	36.8	42.6	44.0	41.0	44.4	50.5
1957	59.0	118.5	57.6	57.8	53.0	42.0	60.2	56.0
1958	46.2	65.0	54.4	46.6	64.9	75.0	70.0	98.4
1959	45.7	85.0	49.6	34.1	55.9	57.0	39.5	51.5
1960	38.7	63.0	38.8	50.2	52.0	50.8	97.0	56.8
1961	21.4	47.0	28.0	22.6	37.0	47.0	27.3	26.3
1962	60.3	135.0	39.2	47.2	42.2	67.0	68.4	78.7
1963	58.8	92.0	59.9	51.1	52.5	71.0	47.0	57.9
1964	34.4	36.0	33.4	28.5	39.0	45.0	32.9	31.1
1965	50.7	94.0	58.8	44.8	65.0	71.5	46.7	61.2
1966	45.9	75.0	39.1	46.2	41.0	41.0	45.6	58.2
1967	28.9	35.0	36.8	26.4	44.0	45.5	29.2	37.0
1968	18.0	14.2	6.7	14.9	25.6	21.0	17.9	19.3
1969	26.7	35.0	32.3	31.0	33.7	45.6	29.9	41.1
1970	51.5	59.0	46.3	51.4	48.3	48.8	64.2	74.5
1971	68.7	53.0	61.8	62.7	60.0	58.0	59.4	70.1
1972	58.0	67.0	50.6	65.0	54.1	52.0	55.9	59.0
1973	26.8	86.0	23.7	27.3	21.7	32.5	30.5	30.3
1974	57.3	52.2	42.1	58.9	60.6	64.0	42.5	50.8
1975	30.5	41.4	24.1	27.4	36.7	43.0	33.9	41.5
1976	25.6	27.5	24.7	19.2	18.2	34.0	31.4	33.0
1977	32.5	61.0	31.2	28.7	41.4	42.5	28.4	40.4
1978	51.7	67.5	71.6	49.4	48.6	67.1	61.0	56.7
1979	62.5	78.0	57.5	15.0	24.5	54.8	65.2	65.5
1980	31.1	75.0	31.0	34.0	39.0	51.6	36.3	45.2
1981	85.6	84.0	80.6	83.2	80.3	97.0	87.1	111.4
1982	53.8	106.5	70.7	70.2	74.0	102.9	89.5	75.8
1983	45.4	52.0	44.6	47.1	50.0	53.0	49.2	59.0
1984	77.6	125.0	80.2	77.0	70.6	93.7	78.2	100.9
1985	25.1	19.5	23.5	23.9	26.0	28.7	22.2	33.2
1986	40.6	113.5	50.1	51.5	60.7	62.4	40.7	52.0
1987	85.7	97.0	78.1	101.0	83.5	86.6	88.0	121.9
1988	23.2	29.3	26.5	25.4	24.7	35.8	27.9	32.1
1989	40.8	63.0	45.7	43.7	41.1	60.0	48.1	55.3
1990	56.1	26.6	45.9	43.9	54.0	61.0	48.3	55.5
1991	36.1	58.2	47.4	45.4	66.6	56.5	49.9	57.4
1992	60.8	76.0	56.4	54.0	50.2	48.5	59.4	68.2
1993	35.4	36.5	38.4	36.8	46.0	51.0	40.4	46.5
1994	33.5	50.0	40.5	38.8	51.6	46.6	42.6	49.0
1995	24.9	50.5	31.2	29.9	34.0	37.0	32.8	37.7
1996	41.4	46.5	36.1	34.5	39.0	43.6	38.0	43.6
1997	54.2	115.0	48.4	46.3	50.7	56.5	50.9	58.5
1998	16.5	23.2	18.4	17.6	18.5	28.8	19.4	22.3
1999	31.3		31.8	34.1	37.9		41.5	
2000	58.4		43.5	62.0	105.3		94.0	
2001	57.7		47.9	57.4	54.8		60.6	
2002	111.1		95.5	114.8	103.0		106.3	
2003	59.2		41.3	60.3	47.6		65.5	
2004	44.6		35.9	49.1	50.6		94.0	
2005	57.5		57.3	71.4	68.4		68.0	
2006	57.4		50.8		47.4			
2007	25.6		21.0		29.6			
2008	78.3		45.8		83.1			
2009	39.9		33.0		40.4			
2010	36.7		17.6		51.6			
2011	19.8		15.8		31.5			
2012	24.6		26.2		27.3			
2013	33.4		25.6		36.1			

Tabla N°3. Estadísticas Definitivas - Precipitaciones Máximas Anuales en 24 h

Año	Carmen	Melipilla	Polpaico	Esm.Colina	V.Hermoso	E. Rungue	E.Huechun
1941	151.8	74.0	86.3	75.8	75.3	120.0	68.3
1942	37.0	65.0	45.4	39.9	39.6	63.2	36.0
1943	44.4	48.0	31.6	27.7	27.6	50.0	25.0
1944	72.2	57.0	60.3	53.0	52.7	63.0	47.8
1945	56.1	70.0	57.2	50.3	50.0	77.0	45.3
1946	20.4	35.0	30.0	26.3	26.2	53.0	23.7
1947	27.1	37.0	36.3	31.9	31.7	41.0	28.8
1948	66.0	50.0	50.8	44.6	44.3	55.0	40.2
1949	89.5	70.0	69.0	60.6	60.2	53.0	54.6
1950	43.8	79.0	46.9	41.2	41.0	65.3	37.2
1951	80.2	55.0	45.7	40.2	39.9	63.6	36.2
1952	57.4	76.5	44.3	38.9	38.7	61.6	35.1
1953	121.6	81.3	78.2	68.7	68.3	108.8	61.9
1954	42.6	58.5	41.2	36.2	36.0	57.4	32.7
1955	46.3	29.5	32.0	28.1	27.9	44.5	25.3
1956	37.0	42.2	37.8	33.2	33.0	52.6	30.0
1957	102.4	66.0	59.2	52.0	51.7	118.5	46.8
1958	58.0	62.3	55.8	49.0	48.8	65.0	44.2
1959	63.6	56.9	50.9	44.7	44.5	85.0	40.3
1960	54.0	44.5	39.9	35.0	34.8	63.0	31.6
1961	43.9	32.1	28.8	25.3	22.0	47.0	22.8
1962	13.5	44.9	40.3	35.4	58.4	135.0	31.9
1963	90.0	68.6	61.5	54.0	44.0	92.0	48.7
1964	33.3	38.2	34.3	30.1	31.2	36.0	27.1
1965	80.0	67.4	60.4	53.0	48.5	94.0	47.8
1966	50.0	44.8	40.2	35.3	30.0	75.0	31.8
1967	49.0	42.2	37.8	33.2	25.0	35.0	29.9
1968	21.0	21.6	19.3	17.0	16.0	14.2	15.3
1969	41.0	37.1	33.2	29.2	21.2	35.0	26.3
1970	62.0	53.1	47.6	41.8	38.8	59.0	37.7
1971	58.0	30.3	55.3	48.5	50.0	53.0	43.8
1972	50.0	44.7	48.4	42.5	50.0	67.0	38.3
1973	36.5	29.6	26.5	23.3	24.0	86.0	21.0
1974	55.0	59.7	53.5	47.0	62.5	52.2	42.4
1975	42.0	38.4	34.4	30.2	34.5	41.4	27.2
1976	34.0	19.5	25.3	22.2	24.5	27.5	20.0
1977	55.5	42.2	38.8	34.1	28.5	61.0	30.7
1978	57.0	61.0	50.7	44.5	50.5	67.5	40.1
1979	54.8	108.2	44.4	39.0	35.0	78.0	35.2
1980	77.0	46.7	44.9	39.4	31.5	75.0	35.5
1981	82.0	86.0	77.9	68.4	80.0	84.0	61.7
1982	91.0	70.0	72.7	63.8	47.0	106.5	57.5
1983	54.3	51.6	45.8	40.2	39.5	52.0	36.3
1984	125.6	78.2	82.4	72.3	65.0	125.0	65.2
1985	27.2	24.9	24.2	21.2	20.5	19.5	19.1
1986	64.0	52.4	51.4	45.2	48.5	113.5	40.7
1987	99.2	101.2	80.2	70.4	88.0	97.0	63.5
1988	37.0	33.0	27.3	23.9	14.5	29.3	12.6
1989	66.0	50.0	47.0	41.2	32.3	63.0	31.0
1990	37.5	29.0	47.1	41.4	43.4	26.6	28.0
1991	56.5	51.9	48.7	42.8	37.0	58.2	43.0
1992	97.0	86.8	82.4	59.5	49.3	76.0	57.0
1993	42.3	31.0	28.0	28.0	28.0	36.5	24.5
1994	52.5	49.0	42.1	35.3	34.5	50.0	40.0
1995	46.0	43.0	30.4	24.5	24.3	50.5	27.0
1996	40.0	25.0	23.0	21.2	31.8	46.5	20.0
1997	58.5	55.0	57.8	61.0	52.5	115.0	59.0
1998	20.0	13.5	13.0	13.5	28.1	23.2	11.7

Donde:

$$S_x = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}\right)}$$

En que:
P: Probabilidad de la variable (precipitación máx. en 24 h)
a: Parámetro de dispersión
u: Modo de la distribución
Xi: Precipitaciones máximas anuales de la serie
X: Promedio de la muestra
n: Número de la muestra
Sx: Desviación estándar de la muestra
Yn: Valor medio de la variable reducida
Sn: Desviación estándar de la variable reducida

Tabla N°4. Distribución de Gumbel – Precipitaciones Máximas Anuales en 24 h.

Estación Meteorológica	T (años)					
	5	10	20	25	50	100
Quinta Normal	60.5	72.2	83.4	87.0	97.9	108.8
Terraza DGA	85.3	103.0	120.0	125.4	142.1	158.6
Pudahuel	58.4	69.7	80.5	83.9	94.5	104.9
Los Cerrillos	61.4	73.8	85.7	89.4	101.1	112.6
Tobalaba	64.1	75.8	87.0	90.6	101.6	112.5
La Florida	72.8	84.9	96.5	100.2	111.5	122.8
El Bosque	62.9	74.8	86.3	89.9	101.1	112.2
San Bernardo	72.8	86.9	100.4	104.7	118.0	131.1
Carmen de las Rosas	80.2	97.6	114.3	119.6	135.9	152.2
Melipilla	68.5	81.5	94.0	97.9	110.1	122.2
Polpaico	60.5	71.4	81.8	85.2	95.4	105.6
Esmeralda de Colina	52.9	62.2	71.3	74.1	82.9	91.6
Valle Hermoso	53.4	63.4	73.0	76.1	85.4	94.8
Embalse Rungue	87.8	105.9	123.3	128.8	145.7	162.6
Embalse Huechun	48.0	56.8	65.1	67.8	76.0	84.1

Comparando las precipitaciones máximas anuales en 24 h y 10 años de período de retorno de la Tabla anterior y lo propuesto por el estudio "Investigación de Eventos Hidrometeorológicos Extremos" desarrollado por BF Ingenieros Civiles (Febrero, 1989), y cuyos resultados se muestran en la tabla 5 donde se observa una diferencia que varía de forma poco significativa para los objetivos del estudio. Es por esta razón que se ha decidido utilizar como base de cálculo para toda la zona de estudio, el plano de isoyetas representado anteriormente.

Tabla N°5. Precipitación Máxima Anual en 24 h T=10 años DGA-MOP.

ESTACION	P24 DGA-MOP
Pudahuel	71.0
Los Cerrillos	72.0
El Bosque	76.8
San Bernardo	89.4
Melipilla	86.1
Carmen de Las Rosas	102.1

1.2.6 Determinación de las Curvas I.D.F.

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia que caracterizan la zona de interés para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y duraciones de 1 h a 24 h se obtuvieron de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Determinación de los coeficientes de frecuencia.
- Determinación de los coeficientes de duración.

Análisis de Frecuencia

Para la determinación de los coeficientes de frecuencia se consideraron los reflejados en la publicación "Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días" del MOP Dirección General de Aguas. Así, para la duración de un día estos coeficientes son:

Tabla N°6. Coeficientes de Frecuencia Estudio DGA-MOP.

Zona	T (años)				
Meteorológica	2	5	20	50	100
V.5. Valle del Maipo	0.553	0.816	1.184	1.431	1.625

Coeficientes de Duración

Dado que en 1983, con motivo del Plan Maestro de Aguas Lluvias de Santiago se realizó un exhaustivo análisis pluviométrico de Santiago, se ha decidido considerar los coeficientes de duración determinados en esa oportunidad, los cuales se presentan en la tabla 7:

Tabla N°7. Coeficientes de Duración determinados por CADE-IDEPE para EMOS. Plan Maestro de Alcantarillado de Santiago 1983.

T (hrs)	T (años)				
	100	50	20	10	5
1	0.167	0.167	0.168	0.169	0.173
2	0.241	0.242	0.259	0.262	0.271
4	0.387	0.392	0.398	0.407	0.424
6	0.534	0.542	0.512	0.527	0.550
8	0.632	0.647	0.613	0.632	0.663
10	0.678	0.691	0.707	0.714	0.726
12	0.724	0.736	0.760	0.766	0.776
14	0.770	0.780	0.808	0.813	0.821
18	0.862	0.868	0.892	0.895	0.900
24	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Si se analiza la tabla 7, se observa que los valores para T=5 años son más altos que para periodos de retorno mayores y que a medida que crece el periodo de retorno, los coeficientes van disminuyendo tendiendo a estabilizarse. Para la definición de las curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia a emplear en este estudio, se ha decidido utilizar coeficientes publicados en "Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días" del MOP- DGA para el Valle del Maipo de la Zona V.5.

Tabla N°8. Coeficientes de Duración para Santiago.

t(horas)	Coeficiente
24 h	1,00
48 h	1,37
72 h	1,54

Determinación de las Curvas I.D.F.

La determinación de las relaciones Intensidad – Duración – Frecuencia se realizó en el "Estudio de Ingeniería Concesión Internacional Transporte de Cercanías Santiago-Melipilla" para precipitaciones máximas en 24 hrs, de período de retorno 10 años, y cuyos valores son 70, 80, 90 y 100 mm. Los coeficientes de frecuencia utilizados son los valores promedios consignados en la tabla 2.7, en tanto que los coeficientes de duración aparecen en la tabla 8.

La expresión analítica de las curvas IDF determinadas es la siguiente:

$$I_t(T) = a\,t^b$$

Donde:

It(T): Intensidad de la precipitación en (mm/hr) para una lluvia de duración t (hrs) y período de retorno T, para una isoyeta dada.
T: Período de retorno (años)
t: Duración de la precipitación en hrs (t <= 24 hrs)
a: Constante según la Tabla 2.9
b: -0,4376 (T = 5 años)
-0,4281 (T = 10, 25, 50 y 100 años)

Tabla N°10. Valores de la Constante "a" en la Expresión Analítica de las Relaciones I.D.F.

P24 (T=10)	T (años)					
(mm)	5	10	20	25	50	100
70	10.95	12.58	14.69	15.12	17.42	19.53
80	12.51	14.38	16.79	17.29	19.91	22.32
90	14.08	16.18	18.89	19.45	22.39	25.11
100	15.64	17.98	20.99	21.61	24.88	27.90

Aplicación Espacial de las Relaciones I.D.F.

Para la aplicación de las relaciones IDF determinadas en el punto anterior es necesario contar con un plano de curvas isoyetas de precipitaciones máximas en 24 h de período de retorno 10 años sobre Santiago que se adoptará en el presente estudio. Esta distribución corresponde a la propuesta en el estudio "Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 Días" (D.G.A, Ministerio de Obras Públicas, Chile, 1991), cuyos resultados fueron validados en el presente estudio.

1.3 Lluvia de Diseño

Se entiende por lluvia de diseño una tormenta de duración, magnitud e intensidad para cada intervalo predefinido y para un determinado periodo de retorno. Estas variables se sintetizan en un esquema denominado hietograma, el cual corresponde al impulso inicial que se da al sistema para calcular la escorrentía, la cual se traduce en un hidrograma.

1.3.1 Duración

Se entenderá por duración de la tormenta al total de intervalos de la lluvia. Su importancia radica en que la intensidad media de la tormenta decrece con la duración y el área aportante de la cuenca crece al aumentar la duración de la tormenta.

La selección de la duración de la tormenta de diseño, está influenciada por factores del clima de la región en cuestión y por aspectos propios del área aportante, tales como su tamaño y pendiente.

Es usual que la duración sea igual al tiempo de concentración del área aportante, definido como el tiempo necesario para que la gota más alejada llegue a la salida. De acuerdo a la figura de las isoyetas, el área de estudio abarca una franja de 61.5 km de longitud que cae bajo la influencia de las isoyetas 76 (mm) a 100 (mm). Para fines de cálculo de los caudales de diseño, la franja en estudio se ha dividido en cinco sectores de modo que cada uno de ellos quedara representado por una única isoyeta.

Tabla N°11. Distribución de Isoyetas de Vía Férrea.

Tramo	Isoyeta Empleada (mm)	km. Inicial	km. Final
Santiago Melipilla	76	0,000	12,000
	80	12,000	17,000
	90	17,000	27,000
	100	27,000	52,000
	90	52,000	61,000

Así, las precipitaciones utilizadas en el estudio para los distintos periodos de retorno serán los que figuran en la tabla 12:

Tabla N°12. Precipitaciones.

Isoyeta	Periodo de retorno					
	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
	0.553	0.816	0.938	1.184	1.431	1.625
70	38.71	57.12	65.71	82.88	100.17	113.75
80	44.24	65.28	78.40	94.72	114.48	130.00
90	49.77	73.44	84.42	106.56	128.79	146.25
100	55.30	81.60	93.80	118.40	143.10	162.50

1.3.2. Hietograma de la Tormenta

La distribución en el tiempo de la lluvia total caída durante un temporal es un factor importante en la determinación del escurrimiento de respuesta de la cuenca. En la Tabla siguiente se entrega el hietograma utilizado en este estudio.

Tabla N°13. Hietograma de la Lluvia de Diseño de 6 horas de Duración.

Intervalo de Tiempo (hrs)	Factor de Ponderación Precipitación
0 – 1	0.11
1 – 2	0.12
2 – 3	0.14
3 – 4	0.30
4 – 5	0.20
5 – 6	0.13

La deducción de la lluvia de diseño se realizó en base a los siguientes criterios:

- Los intervalos de precipitación del hietograma no sobrepasan las intensidades máximas calculadas a partir de las curvas IDF, al menos durante las precipitaciones de diseño más crítica.
- Duración de la tormenta de 6 horas.
- La distribución temporal de la precipitación se asemeja a la forma de una campana, en la cual se maximiza la intensidad horaria alrededor de las 4 horas.

Las intensidades medias de las lluvias para los distintos periodos de retorno y diferentes isoyetas se resumen en la tabla siguiente:

Tabla N°14. Intensidades (mm/h).

Isoyeta	Intensidades (mm/h)						
	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
70	3.75	5.40	6.10	7.20	7.40	8.50	9.50
80	4.29	6.10	7.00	8.20	9.40	9.70	10.90
90	4.82	6.90	7.90	9.20	9.50	10.90	12.30
100	5.36	7.60	8.80	10.30	10.60	12.20	13.60

1.3.4 Identificación de Cuencas

Para la obtención de los caudales que escurren hacia la plataforma de la vía férrea, se utilizarán las precipitaciones de diseño obtenidas del estudio de precipitaciones, lo que junto con la definición de los parámetros geomorfológicos e hidrológicos permitirá asignar a cada área aportante los caudales de diseño para distintos períodos de retorno.

Para la ubicación de las áreas aportantes y la determinación de los parámetros geomorfológicos se utilizaron planchetas IGM escala 1:50,000. La cuenca del Estero El Paico se corresponde con las cuencas C-6 y C-7. En el apéndice de Planos se presentan a escala 1:50,000 los planos con la distribución de las cuencas aportantes. En la tabla 15 se presentan las características geomorfológicas de las subcuencas que componen la cuenca del Estero El Paico en su puno de estudio.

Tabla N°15. Determinación de Parámetros Geomorfológicos Cuencas Aportantes. Tramo Santiago-Melipilla.

N°	Nombr	Área (Km^2)	L (km)	H1 (m)	H2 (m)	H (m)	Im
6	C-6	16.20	6.16	1042	232	810	13.14
7	C-7	32.29	10.0	794	260	534	5.33

La simbología es la siguiente:

A: Área de la cuenca (km^2).
L: Longitud del cauce principal (km).
H1: Cota máxima de la cuenca.
H2: Cota mínima de la cuenca.
H: Diferencia de cotas (m)
Im: Pendiente media de la cuenca (%)

Ninguna de estas cuencas es de régimen nivo-pluvial, que según el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA-MOP) la línea de nieves con mayor probabilidad de ocurrencia para la zona de estudio se ubica aproximadamente a los 2000 msnm.

1.4 Calculo de Crecidas

Para el cálculo de caudales se puede emplearan el Método Racional Generalizado, aplicado con éxito a cuencas de hasta 25 km2 aunque se han reportado casos del entorno de 30 Km^2 , el Método de Verni-King y Método DGA-AC.

1.4.1 Método Racional

Este método establece que el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca aportante. La expresión que utiliza es:

$$Q = \frac{C\ I\ A}{3.6}$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)
C: Coeficiente de escorrentía
I: Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h).
A: Área aportante (km^2).

a) Determinación del Coeficiente de Escorrentía

Para obtener el coeficiente de escorrentía en las 2 cuencas rurales consideradas se ha ponderado cada tipo de área que forma la cuenca y se ha asociado a cada una de ellas un coeficiente. El coeficiente final utilizados ha sido la suma ponderada de estos valores.

Tabla N°16. Porcentajes tipo suelo.

Cuenca	Porcentajes		
	Cultivo	Improductivo	Matorral
C-6	54.5	0.0	45.5
C-7	62.5	0.0	37.5

b) Tiempo de Concentración.

Se ha empleado la Fórmula de California Culverts Practice (1942), para cuencas de montaña:

Donde:

$$T = 56.867\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

T: Tiempo de concentración (min)
L: Longitud de escurrimiento superficial (m)
H: Diferencia de alturas en la cuenca

Para lluvias con duración mayor al tiempo de concentración del área, el Método Racional Generalizado considera la construcción de un hidrograma unitario triangular con una base igual a dos veces el tiempo de concentración. El hidrograma resultante es el producto de la superposición de los hidrogramas unitarios triangulares.

En la Tabla 17 se presenta los coeficientes de escorrentía y tiempos de concentración estimados para el cálculo de crecidas a través del Método Racional Generalizado. Los coeficientes de escorrentía se han tomado del "Estudio de Ingeniería Concesión Internacional Transporte de Cercanías Santiago-Melipilla", cuyos valores oscilan entre 0,20 y 0,30 para las cuencas rurales, tomando para este estudio el valor más conservador:

Tabla N°17. Coeficientes de Escorrentía y Tiempos de Concentración para Áreas Aportantes del Tramo Santiago-Melipilla

Nombre Cuenca	Área (Km2)	Coeficiente Escorrentía	Tc (min)	Tc (horas)
6	16.20	0.30	35	0.60
7	32.29	0.30	73	1.20

La Tabla 18, presenta los caudales de diseño obtenidos por el Método Racional Generalizado para los períodos de retorno de 5, 10,20, 25, 50 y 100 años.

Tabla N° 18. Caudales de Diseño (m^3/s).

Cuenca	Isoyeta	Área Km^2	C	Caudales						
				2	5	10	20	25	50	100
C-6	90.0	16.2	0.3	6.5	9.3	10.7	12.4	12.8	14.7	16.6
C-7	100.0	32.3	0.3	7.2	20.5	23.7	27.7	28.5	32.8	36.6
TOTAL	-	48.5	0.3	13.75	29.8	34.4	40.1	41.3	47.5	53.2

1.4.2 Método Verni - King

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias.

A la fórmula original, establecida para periodos de retorno superiores a 30 años, se la ha agregado un coeficiente empírico variable con los periodos de retorno, que es producto de un proceso de ajuste y calibración a los resultados de los análisis de frecuencias realizados en un total de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre las regiones IIIa y IXa de Chile.

La fórmula de Verni y King Modificada tiene la siguiente forma:

$$Q= C (T) \times 0,00618 \times P1, 24 \times Ap0,88$$

Donde:

Q: Caudal instantáneo máximo asociado al periodo de retorno de T años, expresado en m3/s.
C (T): Coeficiente empírico de periodo de retorno T años.
P24: Precipitación diaria máxima al periodo de retorno de T años, expresado en mm.
Ap: Área pluvial de la cuenca, expresada en Km^2.

Este método tiene validez para cuencas sin control fluviométrico, de régimen pluvial o nivopluvial, con áreas comprendidas entre 20 y 10.000 Km^2, y que estén ubicadas entre las regiones anteriormente mencionadas. Su uso se limita a estimaciones de caudales de periodos de retorno menores de 100 años.

El proceso de cálculo es:

- Determinación del coeficiente empírico para periodo de retorno de 10 años.
- Determinación de curva de frecuencias para el coeficiente empírico.
- Determinación de P24h.
- Cálculo de curva de frecuencias de caudal Instantáneo Máximo.

El coeficiente empírico de periodo de retorno T años se obtiene a base del correspondiente coeficiente asociado al periodo de retorno T=10 años. Este coeficiente depende de la región donde se sitúa la cuenca en estudio, que en este caso es la Región Metropolitana, y según la tabla 3.25 del Manual de Cálculo de

Crecidas y Caudales Mínimos no figura ningún valor para esta región, por tanto se obtiene para la región V (la más próxima a la Región Metropolitana), el coeficiente es 0,29.

Para la determinación de la curva de frecuencia del Coeficiente empírico se debe calcular primeramente el valor del factor de frecuencia C (T)/C (T=10) y luego se multiplica este por el coeficiente asociado al periodo de retorno de 10 años obtenidos anteriormente.

Los valores de factor de frecuencia que dependen también de la ubicación geográfica de las cuencas, así como del periodo de retorno T de la crecida que se desea calcular se presentan en la tabla 19 para la región Metropolitana.

Tabla N°19. Factor de frecuencia.

PERIODO DE RETORNO (años)	C(T)/C(10)
2	0,38
5	0,84
10	1,00
20	1,15
25	1,22
50	1,38
100	1,59

La precipitación utilizada será la obtenida en el acápite 3.4.1 del presente documento, para las isoyetas 90 (cuenca 6) y 100 (para la cuenca 7) que es donde se sitúa la cuenca del estero Paico.

Así el caudal Instantáneo Máximo para las subcuencas que componen la cuenca del estero Quilpué se obtendrán de aplicar la expresión:

$$Q = C\ (T) \times 0{,}00618 \times P1,\ 24 \times Ap\ 0{,}88$$

Tabla N°20. Caudales máximos Cuenca 6

PERIODO DE RETORNO (años)	Área. (Km^2)	CT/C(T10) Región M.	CT C(T10)=0,29	CF_T (mm)	$P\ ^T_{24}$ (mm)	Q (m^3/s)
2	16.20	0.38	0.11	0.553	49.77	1.00
5	16.20	0.84	0.24	0.816	73.44	3.54
10	16.20	1.00	0.29	0.938	84.42	5.09
20	16.20	1.15	0.33	1.180	106.2	7.69
25	16.20	1.22	0.35	1.22	109.80	8.49
50	16.20	1.38	0.40	1.431	128.79	11.85
100	16.20	1.59	0.46	1.625	146.25	15.95

Tabla N°21. Caudales máximos Cuenca 7

PERIODO DE RETORNO (años)	Área. (Km^2)	CT/C(T10) Región M.	CT C(T10)=0,29	CF_T (mm)	$P\ T_{24}$ (mm)	Q (m^3/s)
2	32.29	0.38	0.11	0.553	55.3	**2.09**
5	32.29	0.84	0.24	0.816	81.6	**7.40**
10	32.29	1.00	0.29	0.938	93.80	**10.64**
20	32.29	1.15	0.33	1.180	118.40	**16.15**
25	32.29	1.22	0.35	1.220	122.00	**17.76**
50	32.29	1.38	0.40	1.431	143.10	**24.77**
100	32.29	1.59	0.46	1.625	162.5	**33.36**

CFT: Coeficiente de frecuencia obtenido de la publicación "Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días" para la zona V Valle del Maipo.

El caudal obtenido en el punto de desagüe será la suma de los caudales aportados por las cuencas 6 y7.

Tabla N°22. Caudales máximos en desagüe Cuenca 6 y 7

PERIODO DE RETORNO (años)	Q Cuenca 6 (m^3/s)	Q Cuenca 7 (m^3/s)	Q total (m^3/s)
2	1.00	2.09	**3.09**
5	3.54	7.40	**10.94**
10	5.09	10.64	**15.73**
20	7.69	16.15	**23.84**
25	8.49	17.76	**26.25**
50	11.85	24.77	**36.62**
100	15.95	33.36	**49.31**

1.4.3 Método DGA-AC

El método DGA-AC para crecidas pluviales, corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en series de máximos anuales generadas a partir de la información de caudales medios diarios máximos e instantáneos máximos del periodo pluvial, de 234 estaciones de control fluviométrico.

Este método es válido para cuencas pluviales o pluvionivales sin información fluviométrica y con áreas comprendidas entre 20 y 10.000 Km^2. Su uso está restringido a periodos de retorno inferiores de 100 años.

El proceso de cálculo es determinar en primer lugar la zona homogénea a la que pertenece la cuenca en estudio.

Luego se determina la curva de frecuencias de la cuenca para la variable caudal medio diario máximo. Finalmente dicha curva se convierte a la correspondiente caudales instantáneos máximos, a través de la determinación de un facto de conversión apropiado.

La zona donde se sitúa la cuenca del estero Paico se encuentra en la Región Metropolitana y corresponde a la Zona Homogénea Pluvial situada entre Lat 32º S y Lat 35º S. La precipitación máxima en 24 h para las dos subcuencas (6 y 7) del estero Paico se sitúa por encima de 80 mm para un periodo de retorno de 10 años, así pues la Zona Homogénea Pluvial es Np dado que el área pluvial de la cuenca es inferior a 145 Km2.

Con estos datos, se obtienen que la Curva de Frecuencia Caudales Medios Diarios Máximos, según la tabla 3.11 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos son los siguientes:

Tabla N°23. Curva frecuencia regional Caudales Medios Diarios Máximos Homogénea NP pluvial-Log Normal-Latitud 32º35º.

PERIODO DE RETORNO (años)	Q(T)/Q(10)		
	Media	Máxima	Mínima
2	0,18	0,20	0,16
5	0,56	0,57	0,54
10	1,00	1,00	1,00
20	1,61	1,67	1,59
25	1,86	1,94	1,81
50	2,77	2,98	2,66
75	3,44	3,76	3,28
100	3,97	4,38	3,76

Aplicar la expresión:

$$Q10= 5,42 \times 10\text{-}8x\ Ap\ 0,915\ x(P10\ /24h)^{3,432}$$

Ap: Área de aportación en Km2, obtenido en el punto 2.2 de este documento.

La precipitación utilizada será la obtenida en apartados anteriores para el periodo de retorno de 10 años y que son 84.42 y 93.80 mm para las cuencas 6 y 7 respectivamente:

$$Q10=5,42 \times 10\text{-}8x\ Ap\ 0,915\ x(P10/\ 24h)^{3,432}$$

Cuenca 6: $Q10=5.42 \times 10\text{-}8x\ 16.200\ 915x\ (84.42)^{3.432} = 2.83\ m^3/s$
Cuenca 7: $Q10=5.42 \times 10\text{-}8x\ 32.290\ 915x\ (93.80)^{3.432}= 7.64\ m^3/s$

Los caudales medios diarios para los distintos periodos de retorno se obtendrán de multiplicar el valor obtenido para 10 años por los coeficientes máximos de la tabla 24:

Tabla N°24. Subcuenca 6: Caudales Medios Diarios Máximos

PERIODO DE RETORNO (años)	Q(T)/Q(10)	Q_{Med} m^3/s
2	0,18	0.51
5	0,56	1.58
10	1,00	2.83
20	1,61	4.55
25	1,86	5.26
50	2,77	7.84
75	3,44	9.63
100	3,97	11.23

Tabla N°25. Subcuenca 7: Caudales Medios Diarios Máximos

PERIODO DE RETORNO (años)	Q(T)/Q(10)	Q_{Med} m^3/s
2	0,18	1.37
5	0,56	4.28
10	1,00	7.64
20	1,61	12.30
25	1,86	14.21
50	2,77	21.16
75	3,44	26.28
100	3,97	30.33

Los caudales totales para la cuenca del Paico será la suma de las cuencas 6 y 7:

Tabla N°26. Caudales Totales Cuencas 6 y 7

PERIODO DE RETORNO (años)	Q_{Med} C-6 m^3/s	Q_{Med} C-7 m^3/s	Q_{Med} Paico m^3/s
2	0.51	1.37	**1.88**
5	1.58	4.28	**5.86**
10	2.83	7.64	**7.11**
20	4.55	12.30	**16.85**
25	5.26	14.21	**19.47**
50	7.84	21.16	**29.00**
75	9.63	26.28	**35.91**
100	11.23	30.33	**41.56**

Para convertir estos caudales en Caudal Máximo Instantáneo, se aplica el factor de conversión obtenido de la tabla 3.24 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica.

En esta tabla figura para la zona homogénea Np (obtenida anteriormente) un factor de 1,87. Así los caudales de cálculo se resumen en la tabla siguiente:

Tabla N°27. Caudales Máximos Instantáneo

PERIODO DE RETORNO (años)	METODO RACIONAL m^3/s	VERNI-KING m^3/s	DGA-AC m^3/s
2	**13.75**	3.09	3.51
5	**29.80**	10.94	10.96
10	**34.40**	15.73	13.29
20	**40.10**	23.84	31.51
25	**41.30**	26.25	36.41
50	**47.50**	36.62	54.23
100	**53.20**	49.32	77.72

A la vista de los resultados obtenidos por los tres métodos, se observa un orden de magnitud semejante para los periodos de retorno elevados. Así, para estudios posteriores se consideran los valores obtenidos por el Método Racional (marcados en negrita), ya que tiene un valor semejante para los periodos de retorno alto, pero da valores más elevados para los periodos de retorno cortos estando por consiguiente del lado de la seguridad.

2 Estudio Hidráulico del Estero El Paico

2.1 Introducción

El objeto del presente apartado es el estudio del comportamiento actual y futuro del cauce afectado por el trazado de la vía, en caso de que se produzcan fenómenos meteorológicos que ocasionen caudales de avenida. La situación actual, lógicamente, hace referencia a la topografía y elementos del cauce, tal y como se encuentran en estos momentos. La situación futura se refiere al comportamiento una vez construidas las nuevas estructuras.

2.2 Metodología

Para este informe se parte de los datos geométricos procedentes de los perfiles transversales obtenidos en campo. Dichas secciones deben representar el avance del flujo de avenidas en su corte con el cauce. En las infraestructuras modelizadas se toman perfiles adicionales, tanto aguas arriba como aguas abajo, a partir de la cartografía generada para el trazado de la línea de ferrocarril, con lo que se obtiene una modelización más fiel de la zona estudiada.

Para la evaluación del comportamiento del cauce se realizarán dos modelos matemáticos, uno en la situación actual y el otro en la situación futura. Ambos con los caudales de diseño mencionados anteriormente para los dos cauces.

La metodología utilizada para abordar el estudio hidráulico es la modelización matemática de los tramos a través del modelo de simulación hidráulica HEC- RAS, desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers.

Este modelo surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca el análisis tanto en régimen lento como rápido, y la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso y post-proceso.

El modelo numérico incluido en este programa y utilizado en el presente estudio permite realizar el análisis del flujo permanente en lámina libre. La versión empleada del programa HEC-RAS es la 4.1.0, de enero de 2010.

Se compararán los parámetros más significativos de ambos modelos, con el fin de valorar la variación que supone la construcción del viaducto de la línea de alta velocidad, con respecto a la situación actual en caso de avenidas.

Finalmente, se extraerán las conclusiones pertinentes.

2.3 Breve Descripción del Programa

El programa HEC-RAS simula un flujo gradualmente variado en estado estacionario en canales abiertos, con condiciones de contorno rígidas. Se admite la hipótesis de que la pérdida de altura por fricción en una sección, es la misma que tendría un flujo uniforme que tuviese la misma velocidad y radio hidráulico que el correspondiente a la sección.

Se considera conocida la altura de la superficie del agua y el caudal en una determinada sección transversal.

- La energía del flujo se calcula conociendo la geometría de la sección transversal.
- La geometría de la sección es también conocida en la siguiente sección, al igual que la longitud del tramo entre ambas.
- Se supone un régimen inicial de funcionamiento.
- La pérdida de altura debida a la fricción, se calcula conociendo el caudal, longitud del tramo y geometría de la sección, aplicando la fórmula de pérdida de carga de Manning para un cierto valor de “n”.
- La altura de velocidad ponderada, se calcula en la sección siguiente y se halla la diferencia entre ambas.
- Se calculan las pérdidas por expansión o contracción a partir de la diferencia anterior y de los coeficientes aplicados.
- La diferencia de alturas de la superficie del agua entre las dos secciones se calcula como la suma de la diferencia en alturas de velocidad, las pérdidas de fricción y por contracción o expansión.
- La elevación de la lámina de agua en la segunda sección se calcula como la suma de la altura inicial de la superficie de agua asumida y la diferencia obtenida.
- Se calcula el error en la segunda sección entre la altura asumida y la calculada.
- Si el error es aceptable, menor de 1 cm, el procedimiento se repite para la siguiente sección, considerando los nuevos valores como conocidos. Si el error no es aceptable se repite el proceso.

2.4 Datos Necesarios

Los datos requeridos para la ejecución del programa son los siguientes:

- Régimen de flujo
- Condición de contorno
- Caudal
- Coeficientes de pérdidas
- Geometría de las secciones
- Longitud entre las secciones

Para cada una de las fases o subfases se confecciona una geometría, un estudio de flujo y, asociado a estos ficheros, un plan o una hipótesis de estudio.

El programa crea una serie de Reports o ficheros y resultados además, de unas salidas gráficas diseñadas por el programa y parcialmente modificables por el usuario, que permiten observar fácilmente la evolución de la lámina de agua a lo largo del cauce, e incluso, editar simulaciones tridimensionales del cauce y las obras de fábrica modeladas.

En cada caso, se aportan los resultados más importantes que, en líneas generales se concretan en los perfiles próximos o, en el entorno de los puntos singulares.

Con los datos de partida anteriores y las condiciones de contorno impuestas, se procede a realizar el cálculo hidráulico, considerando las condiciones geométricas y de contorno que se describen en el apartado siguiente.

2.5 Datos de partida

2.5.1 Caudal

Se tomaran los valores mencionados en los apartados anteriores de Estudio Hidrológico:

Tabla N°28. Caudales de Diseño (m^3/s)

Cauce	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
Paico	13.75	29.80	34.40	40.10	41.30-	47.50	53.20	-	

2.5.2 Topografía

Para la definición geométrica de los cauces, se realizó un levantamiento topográfico de aquellas secciones del río que se han considerado necesarias para la definición del cauce, apoyado por la generación de un modelo digital del terreno. La ubicación de los perfiles se puede consultar en los planos que acompañan al presente informe. La numeración de las secciones transversales es descendente siguiendo el flujo del agua

y los puntos que definen cada sección se toman de izquierda a derecha, tal y como se han de introducir en HEC-RAS para su modelación.



Figura N°10. Modelo hidráulico del Estero El Paico sobre imagen satélite

2.5.3 Parámetros de Modelación

Las condiciones de contorno del flujo en cada tramo en estudio, para las que existen varias alternativas, son las que indican al modelo cómo ha de comenzar los cálculos hidráulicos.

Las alternativas utilizadas son la introducción de la pendiente media del río en el tramo, para el cómputo de la altura normal del flujo con cálculo en régimen mixto, así como calado crítico. Los valores introducidos son:

- Altura Normal (Aguas Abajo): 0.0019
- Altura Normal (Aguas Arriba): 0.0001

Los números de Manning utilizados son los siguientes:

- Cauce: 0.035
- Ribera: 0.040

Los coeficientes de contracción y expansión del flujo para los cálculos entre las secciones son los correspondientes a transiciones graduales, para la contracción 0.1 y para la expansión 0.3. Las excepciones a estos coeficientes corresponden con la existencia de obstáculos al flujo normal del agua por el cauce, es decir, obras de fábrica y azudes, en que las transiciones son más bruscas y los coeficientes de contracción y expansión utilizados son, respectivamente, 0.3 y 0.5.

3 Resultados del Modelo Hidráulico

Los resultados obtenidos se adjuntan al final del presente Apéndice (en la sección "Respaldo Modelaciones", para los caudales obtenidos en este estudio para el estero El Paico.

En todos los casos se ha realizado el cálculo para la situación actual y la futura, aunque al no hacerse modificaciones en las pilas ni estribos no se producen afecciones a la situación régimen hidráulico actual.

3.1 Conclusiones al Resultado del Modelo Hidráulico del Río Mapocho

En este apartado se resumen las cotas de las láminas de agua alcanzadas para la situación actual y futura del Estero El Paico. A la vista de estos valores y de su análisis, se puede comprobar que en ningún caso las infraestructuras se ven afectadas por las avenidas de diseño, ya que se mantiene la geometría actual de las estructuras existente.

A continuación se presenta la diferencia de cotas en cada uno de los perfiles considerados que se producen entre la situación actual y futura para el periodo de retorno de 100 años para el Estero El Paico

Tabla N°29. Comparativa cotas Río Paico.

Perfil	Situación Actual	Situación Futura	Sobrelevación
84	247.23	247.23	0.00
78	246.94	246.94	0.00
70	246.87	246.89	0.02
64	246.85	246.87	0.02
57	246.85	246.87	0.02
Puente A. Arriba	246.77	246.82	0.05
Puente A. Abajo	246.54	246.47	-0.07
40	246.45	246.45	0.00
34	246.66	246.66	0.00
25	246.59	246.59	0.00
20	246.61	246.61	0.00
14	246.55	246.55	0.00
8	246.51	246.51	0.00
5	246.18	246.18	0.00
4.75 *	245.88	245.88	0.00
4.50 *	245.69	245.68	-0.01
4.25 *	245.65	245.64	0.01
4.	245.68	245.68	0.00
3.8	245.54	245.53	-0.01
3.6*	245.46	245.45	-0.01
3.4*	245.38	245.37	-0.01
3.2*	245.31	245.30	-0.01
3.	245.26	245.25	-0.01
2.8*	245.14	245.13	-0.01
2.6*	244.99	244.99	0.00
2.4*	244.82	244.82	0.00
2.2*	244.70	244.70	0.00
2	244.80	244.79	-0.01
1.75*	244.72	244.71	-0.01
1.50*	244.61	244.62	0.01
1.25*	244.57	244.58	0.01
1	244.56	244.56	0.00

Comprobando los resultados se concluye que las diferencias son mínimas en la mayoría de las secciones estudiadas.

Las cotas en los perfiles de aguas arriba y aguas abajo del puente para los distintos periodos de retorno son:

Tabla N°30. Cotas situación actual perfiles puente

	2 a	5 a	10 a	25 a	50a	100a
	Q=13.75	Q=29.80	Q=34.4	Q=41.30	Q=47.50	Q=53.20
1	245.79	246.25	246.35	246.51	246.65	246.77
2	245.74	246.15	246.23	246.14	246.24	246.54

(1) Aguas Arriba puente, (2) Aguas Abajo Puente

Tabla N°31. Cotas situación futura perfiles puente.

	2 a	5 a	10 a	25 a	50a	100a
	Q=13.75	Q=29.80	Q=34.4	Q=41.30	Q=47.50	Q=53.20
1	245.81	246.28	246.39	246.55	246.69	246.82
2	245.69	246.08	246.17	246.26	246.37	246.47

(1) Aguas Arriba puente, (2) Aguas Abajo Puente

Las diferencias entre la situación actual y futura en los perfiles de aguas arriba y aguas abajo del puente figuran en la tabla Nº32.

Tabla N°32. Diferencia de cotas situación actual y futura en metros

	2 a	5 a	10 a	25 a	50a	100a
	Q=13.75	Q=29.80	Q=34.4	Q=41.30	Q=47.50	Q=53.20
1	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05
2	-0.05	-0.07	-0.06	-0.08	-0.07	-0.07

(1) Aguas Arriba puente, (2) Aguas Abajo Puente

4 Estudio de Arrastre de Sedimentos

Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos.

En un punto cualquiera del río, el material que viene de aguas arriba puede seguir siendo arrastrado por la corriente y cuando no hay suficiente capacidad de transporte este se acumula dando lugar a los llamados depósitos de sedimentos.

Las corrientes fluviales forman y ajustan sus propios cauces, la carga de sedimentos a transportar y la capacidad de transporte tienden a alcanzar el equilibrio. Cuando un tramo del río consigue el equilibrio, se considera que ha obtenido su perfil de equilibrio.

La ampliación de plataforma que se va a realizar en el puente del río, no afecta a las corrientes ni al fondo del cauce ni a las características de los elementos arrastrados ya que en ninguno de los casos se va afectar el cauce actual de forma que pueda sufrir alteraciones el transporte de sedimentos. Por este motivo no se considera necesario un estudio de sedimentaciones.

4.1 Estudio de Socavaciones en el Puente sobre el Estero El Paico

4.1.1 Estudio de la Erosión

En el presente estudio se estima la erosión provocada por las avenidas en las pilas y estribos del puente sobre el estero El Paico, siguiendo los procedimientos descritos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

Tal y como se indica en dicho manual, existen diversas formulaciones que permiten estimar la socavación máxima debido a la presencia de pilas y estribos. Siguiendo las recomendaciones de la metodología empleada, se elige la expresión dada por la Envolvente de Datos Experimentales (EDE) de diversos autores, por presentar en las secciones del puente números de Froude mayores de 0,7.

Por lo tanto, se tiene que:

$$\frac{Sc}{b} = \begin{cases} 2\left(\frac{h}{b}\right)^{0,35} & si\ h/b \leq 2 \\ 2{,}5 & si\ \frac{h}{b} > 2 \end{cases}$$

En nuestro caso, al extraer los resultados de HEC-RAS para la sección de aguas abajo del puente, se tiene que:

Tabla N°33. Resultados para Puente

T retorno (años)	Elevación lámina agua (m)	Elevación calado crítico (m)	Q Canal central (m³/s)	Vel (m/s)	Máxima profundidad (m)
5	246.28	245.89	29.80	1.92	1.42
10	246.39	245.99	34.40	2.00	1.53
25	246.55	246.11	41.30	2.10	1.69
50	246.69	246.22	47.30	2.16	1.83
100	246.47	246.34	53.20	3.14	1.66

Por lo tanto;

Tabla N°34. Resultados para Puente de El Paico

T retorno (años)	h	b	h/b	Sc/b	Sc
5	1.42	1	1.42	2.27	2.27
10	1.53	1	1.53	2.32	2.32
25	1.69	1	1.69	2.40	2.40
50	1.83	1	1.83	2.47	2.47
100	1.66	1	1.66	2.39	2.39

Con el fin de tener en cuenta los factores de forma de la pila, la presencia de varias pilas, de dispersión granulométrica del material del lecho, etc., se utiliza un coeficiente de corrección K. De esta manera queda que:

$$S = K \cdot Sc$$

Donde

$$K = KsKwKgKgrKRKd$$

Ks: Corresponde al Factor de forma de pila, que según los valores de la tabla 3.707.402.A del manual, es igual a 1, por presentar pilas con forma piramidal angostándose hacia arriba.

Kw: factor de esviaje de pilas rectangulares. Empleando la formulación indicada, para un ángulo estimado en 0 °, se obtiene el siguiente valor:

$$Kw = (cosw + L/b(senw))^{0,62}$$

Con L= 11 m. b=1 m. Kw = 1,0

Kg: Factor de dispersión granulométrica. Teniendo en cuenta la siguiente curva granulométrica se calcula este factor:

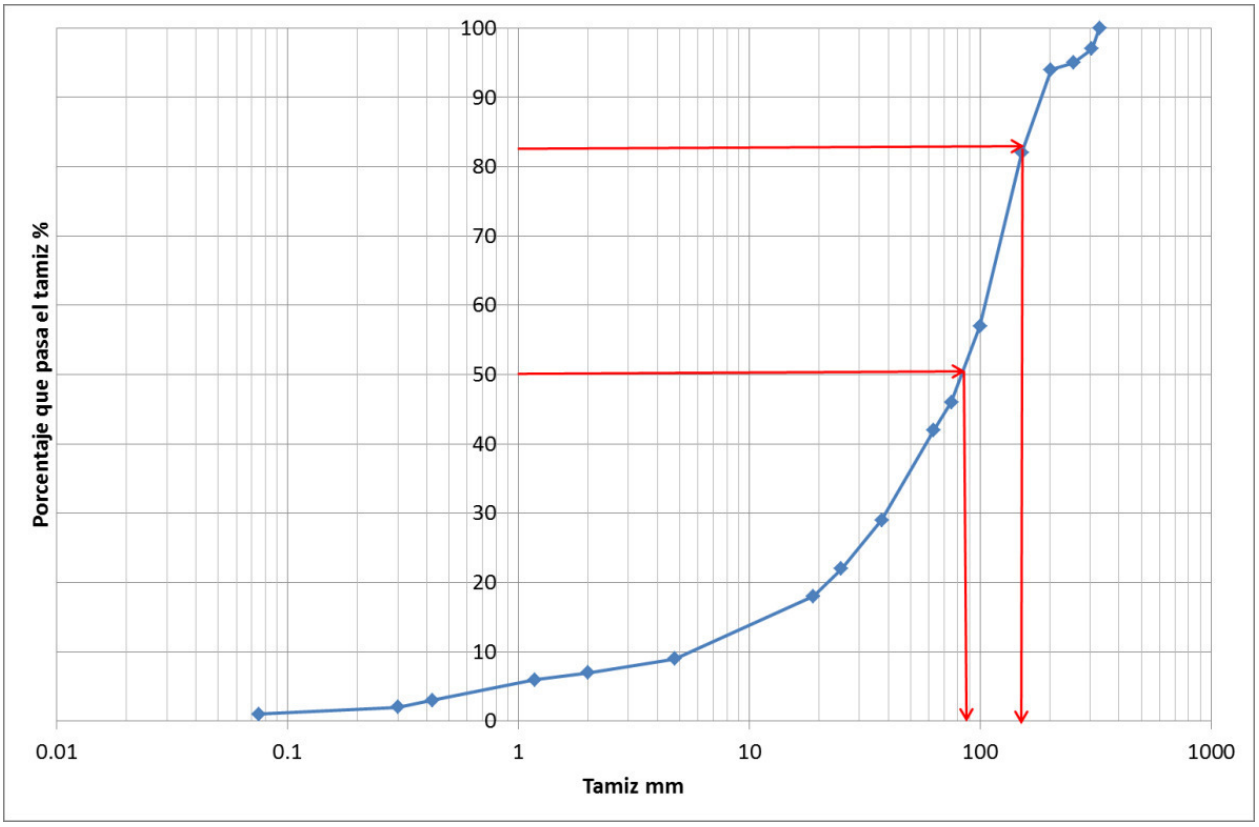


Figura N°11. Curva granulométrica de para cálculo del factor de dispersión

Por lo tanto, D50 = 80 mm y D84 = 108 mm. Con σg = $D84/D50$

$$Kg = \sigma g^{-0,24}$$

De esta manera se obtiene un Kg = 0,93

Kgr: Factor de grupo de pilas. Se obtiene al analizar la distancia entre las pilas. En este caso, al ser la distancia entre ellas mayor a ocho veces el ancho de las pilas, se tiene un Kgr= 1,00.

Kr: Factor de afloramiento de la base de la fundación, siendo en este caso Kr=1,00, dado que las cimentaciones se encuentran enterradas.

Kd: Factor de tamaño de sedimento.

Siendo b=1 m y D50=0.08m, se tiene que el tamaño relativo del sedimento al tamaño de la pila es b/D50 =12,5. Por lo tanto se considera un sedimento grueso. De esta manera se tiene un Kd=1,00.

Teniendo en cuenta los factores correctores obtenidos, la socavación máxima en pilas (marcada en negrita) es:

Tabla N°35. Socavación máxima en pilas del Puente

T retorno (años)	Sc (m)	S (m)
5	2.27	2.11
10	2.32	2.16
25	2.40	2.23
50	2.47	2.30
100	2.39	2.22

Por otra parte, la socavación en estribos se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Se = K\varphi KFKhK\sigma KIh$$

Siendo h la altura local del escurrimiento no perturbado, esta se obtiene al observar la parte más profunda de los estribos, con una profundidad 1 metro menor que el cauce. Por lo tanto;

Tabla N°36. Altura local del escurrimiento en Puente

T retorno (años)	h (m)
5	0.42
10	0.53
25	0.69
50	0.83
100	0.66

Kφ: Factor de ángulo de esviaje, se calcula de la siguiente manera:

$$K\varphi = (\varphi/90)^{-0,13}$$

Aplicando un ángulo de 0°, se tiene que Kφ = 1,79.

KF: Factor de forma del estribo o espigón. Al tratarse de una pared vertical, se aplica un valor de 1,00

Kσ: Factor de influencia de la dispersión granulométrica de arenas No-uniformes. Se aplica de la misma manera que Kg (factor de dispersión granulométrica para la socavación en pilas), teniendo un valor de 0,93.
KI: Factor de intensidad de flujo. Dadas las altas velocidades que se presentan en la sección, se aplica el valor más desfavorable, siendo KI = 1,00.

De esta manera, se obtiene la socavación máxima en estribos:

Tabla N°37. Socavación máxima en estribos en Puente

T retorno (años)	Se (m)
5	0.39
10	0.49
25	0.64
50	0.77
100	0.61

4.2 Protección Antierosión

El método antierosión más frecuente consiste en un manto de escollera colocado alrededor del apoyo. El ancho del recubrimiento de escollera se considera igual a la erosión en todos los casos, y por consiguiente:

Tabla N°38. Recubrimiento de escollera en Puente

T retorno (años)	S (m)	Se (m)
100	2.22	0.61

El peso de los bloques será proporcional al tamaño de los mismos. El tamaño vendrá dado por la expresión:

$$d = ((0{,}7 * F) / \sqrt{(\gamma s - \gamma) / \gamma})^3 * y$$

Donde:

$$F = V / \sqrt{g * y}$$

La velocidad de arrastre la tomamos del perfil del puente de la modelización en el cauce, en este tramo la velocidad es 3,14 m/s, Fr =0,78, y=1,66 m.

Las densidades se toman s= 2.65 Tn/m³ y =1.0 Tn/m, obteniendo un tamaño de los bolos es de 0,26 m de diámetro mínimo. El peso mínimo de estos bolos será de 24 kgr, obtenido por la expresión:

$$P = \gamma s * 4/3 * \pi * (d/2)^3$$

El manto de escollera estará compuesto por dos capas, y se colocará en los estribos y en las pilas del viaducto cuyo espesor será:

$$\varepsilon = 2.4 * \sqrt[3]{2P/\gamma s} = 0{,}6 \text{ m}$$

Respaldo de Modelaciones

HEC-RAS Plan: P_01 River: Palca Reach: Palca

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
Palca	84	T 2	13.75	245.24	246.23	246.10	246.63	0.016002	2.48	5.54	8.88	1.08
Palca	84	T 5	25.80	245.24	246.71	246.51	247.22	0.014534	3.17	8.40	9.23	1.08
Palca	84	T 10	34.40	245.24	246.85	246.65	247.37	0.014542	3.36	10.76	10.35	1.08
Palca	84	T 25	47.50	245.24	247.04	246.84	247.56	0.011805	3.52	13.75	56.85	0.93
Palca	84	T 50	47.50	245.24	247.15	246.96	247.71	0.011225	3.34	14.89	57.51	0.92
Palca	84	T 100	53.80	245.24	247.23	247.03	247.48	0.009030	2.94	30.79	58.19	0.88
Palca	78	T 2	13.75	245.02	245.94	246.10	246.44	0.036504	3.14	4.29	10.68	1.52
Palca	78	T 5	25.80	245.02	246.20	246.45	247.06	0.042830	4.11	7.25	11.55	1.68
Palca	78	T 10	34.40	245.02	246.35	246.54	247.23	0.041831	4.38	8.80	12.60	1.68
Palca	78	T 25	41.30	245.02	246.53	246.68	247.38	0.038024	4.52	9.14	12.65	1.68
Palca	78	T 50	47.50	245.02	246.44	246.80	247.55	0.037177	4.67	10.16	12.12	1.63
Palca	78	T 100	53.80	245.02	246.54	246.87	247.41	0.011148	3.08	18.33	48.70	0.93
Palca	70	T 2	13.75	244.36	245.89	245.58	246.00	0.033832	1.45	9.47	11.50	0.52
Palca	70	T 5	25.80	244.36	246.57	245.96	246.95	0.009022	1.91	16.56	13.57	0.57
Palca	70	T 10	34.40	244.36	246.70	246.06	246.83	0.008513	1.78	20.33	11.14	0.55
Palca	70	T 25	41.30	244.36	246.80	246.18	247.04	0.007465	1.93	24.38	11.43	0.54
Palca	70	T 50	47.50	244.36	246.89	246.29	247.23	0.006398	1.86	29.21	11.85	0.54
Palca	70	T 100	53.80	244.36	246.97	246.39	247.14	0.004363	2.31	23.22	82.83	0.51
Palca	64	T 2	13.75	244.36	245.84	245.57	245.97	0.024542	1.64	8.61	10.54	0.57
Palca	64	T 5	25.80	244.36	246.31	245.89	246.13	0.008035	2.07	14.45	14.87	0.68
Palca	64	T 10	34.40	244.36	246.42	245.89	246.65	0.008308	2.14	16.85	14.84	0.68
Palca	64	T 25	41.30	244.36	246.58	246.23	246.84	0.008472	2.52	18.40	16.47	0.67
Palca	64	T 50	47.50	244.36	246.72	246.34	246.98	0.008221	2.57	20.57	17.54	0.68
Palca	64	T 100	53.80	244.36	246.84	246.44	247.11	0.008987	2.36	23.13	18.33	0.68
Palca	57	T 2	13.75	244.36	245.83	245.51	245.94	0.008532	1.42	9.70	12.51	0.51
Palca	57	T 5	25.80	244.36	246.21	245.81	246.08	0.008696	1.86	16.54	16.57	0.55
Palca	57	T 10	34.40	244.36	246.43	245.80	246.64	0.008722	1.88	18.30	17.44	0.56
Palca	57	T 25	41.30	244.36	246.59	246.11	246.79	0.008736	1.96	21.03	19.12	0.57
Palca	57	T 50	47.50	244.36	246.73	246.21	246.94	0.008572	2.03	23.45	20.10	0.58
Palca	57	T 100	53.80	244.36	246.85	246.30	247.07	0.008442	2.08	25.81	21.80	0.58

HEC-RAS Plan: P_01 River: Palos Reach: Palos (Continued)

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
Palos	50		Bridge									
Palos	40	T 2	13.75	244.81	245.54	245.54	245.82	0.015172	2.32	5.92	10.71	1.01
Palos	40	T 5	29.80	244.81	245.85	245.83	246.35	0.012366	2.77	10.77	12.79	0.96
Palos	40	T 10	34.40	244.81	246.07	246.03	246.47	0.011215	2.82	12.20	13.41	0.93
Palos	40	T 25	41.30	244.81	246.22	246.16	246.65	0.009572	2.91	14.20	14.14	0.90
Palos	40	T 50	47.50	244.81	246.34	246.24	246.80	0.009308	3.06	15.86	14.72	0.88
Palos	40	T 100	53.20	244.81	246.45	246.33	246.93	0.008952	3.07	17.32	15.78	0.87
Palos	34	T 2	13.75	244.76	245.65	245.27	245.71	0.022175	1.96	12.59	16.48	0.48
Palos	34	T 5	29.80	244.76	246.13	245.57	246.23	0.022138	1.42	21.81	18.11	0.52
Palos	34	T 10	34.40	244.76	246.25	245.69	246.35	0.022128	1.48	23.90	18.35	0.52
Palos	34	T 25	41.30	244.76	246.41	245.79	246.53	0.022175	1.58	26.85	18.70	0.53
Palos	34	T 50	47.50	244.76	246.54	245.84	246.69	0.022174	1.66	28.82	18.88	0.53
Palos	34	T 100	53.20	244.76	246.66	245.92	246.83	0.022197	1.72	30.87	19.23	0.53
Palos	25	T 2	13.75	244.72	245.61	245.29	245.68	0.022891	1.23	11.16	14.89	0.58
Palos	25	T 5	29.80	244.72	246.08	245.61	246.27	0.022932	1.61	18.49	16.27	0.58
Palos	25	T 10	34.40	244.72	246.19	245.68	246.34	0.022897	1.76	20.29	16.58	0.58
Palos	25	T 25	41.30	244.72	246.35	245.79	246.47	0.022907	1.88	22.82	17.61	0.58
Palos	25	T 50	47.50	244.72	246.48	245.88	246.65	0.022905	1.85	25.76	17.49	0.58
Palos	25	T 100	53.20	244.72	246.59	245.96	246.79	0.022908	1.96	27.16	17.73	0.57
Palos	20	T 2	13.75	244.71	245.61	245.24	245.67	0.022186	1.06	12.82	16.84	0.48
Palos	20	T 5	29.80	244.71	246.09	245.53	246.18	0.022186	1.42	20.84	18.34	0.53
Palos	20	T 10	34.40	244.71	246.20	245.61	246.30	0.022188	1.48	23.02	18.73	0.53
Palos	20	T 25	41.30	244.71	246.36	245.71	246.48	0.022191	1.58	26.10	19.39	0.54
Palos	20	T 50	47.50	244.71	246.49	245.80	246.63	0.022196	1.65	28.73	20.01	0.54
Palos	20	T 100	53.20	244.71	246.61	245.87	246.76	0.022192	1.71	31.12	20.61	0.54
Palos	14	T 2	13.75	244.66	245.55	245.25	245.65	0.023226	1.36	10.40	15.55	0.58
Palos	14	T 5	29.80	244.66	246.00	245.61	246.17	0.023207	1.62	18.33	17.76	0.58
Palos	14	T 10	34.40	244.66	246.15	245.68	246.29	0.023202	1.76	20.27	17.45	0.58
Palos	14	T 25	41.30	244.66	246.30	245.79	246.47	0.023206	1.75	23.85	17.85	0.58
Palos	14	T 50	47.50	244.66	246.44	245.88	246.62	0.023206	1.87	25.41	18.22	0.57

HEC-RAS Plan: P_01 River: Paico Reach: Paico (Continued)

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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Paico	14	T 100	53.20	234.66	245.52	245.96	246.72	0.008838	1.93	27.51	18.54	0.51
Paico		T 2	13.75	234.51	245.54	245.92	246.62	0.008316	1.32	10.44	13.77	0.48
Paico		T 5	29.80	234.51	246.00	245.96	246.75	0.008835	1.72	17.31	15.51	0.54
Paico		T 10	34.40	234.51	246.11	246.05	246.87	0.008842	1.76	19.19	16.94	0.54
Paico		T 25	41.30	234.51	246.25	246.17	246.45	0.008834	1.85	21.88	17.38	0.54
Paico		T 50	47.50	234.51	246.40	246.28	246.59	0.008866	1.97	24.17	17.77	0.54
Paico		T 100	53.20	234.51	246.51	246.37	246.72	0.008915	2.03	26.20	18.09	0.54
Paico	5	T 2	13.75	234.42	245.36	245.33	245.60	0.010085	2.01	6.83	11.88	0.65
Paico	5	T 5	29.80	234.42	245.75	245.68	246.11	0.010481	2.61	11.43	12.98	0.69
Paico	5	T 10	34.40	234.42	245.86	245.78	246.22	0.010013	2.72	12.64	13.27	0.68
Paico	5	T 25	41.30	234.42	245.96	245.90	246.41	0.009877	2.86	14.43	13.64	0.68
Paico	5	T 50	47.50	234.42	246.05	246.00	246.53	0.009862	3.00	15.84	13.87	0.69
Paico	5	T 100	53.20	234.42	246.18	246.09	246.65	0.009884	3.12	17.06	14.07	0.69
Paico	4.757*	T 2	13.75	234.18	245.14	245.08	245.57	0.011297	2.16	6.56	11.25	0.68
Paico	4.757*	T 5	29.80	234.18	245.51	245.47	245.86	0.011335	2.68	11.10	12.57	0.69
Paico	4.757*	T 10	34.40	234.18	245.65	245.58	246.00	0.011824	2.86	12.03	13.15	0.69
Paico	4.757*	T 25	41.30	234.18	245.85	245.68	246.17	0.012243	3.08	13.42	13.48	0.68
Paico	4.757*	T 50	47.50	234.18	246.75	245.78	246.32	0.012124	3.22	14.77	13.65	0.69
Paico	4.757*	T 100	53.20	234.18	245.88	245.87	246.44	0.011882	3.33	15.98	13.87	0.69
Paico	4.5*	T 2	13.75	232.84	244.83	244.82	245.02	0.014816	2.32	5.93	10.78	1.80
Paico	4.5*	T 5	29.80	232.84	245.21	245.21	245.62	0.013827	2.86	10.43	12.47	1.80
Paico	4.5*	T 10	34.40	232.84	245.31	245.30	245.75	0.013496	2.93	11.75	12.92	1.58
Paico	4.5*	T 25	41.30	232.84	245.45	245.42	245.92	0.013182	3.06	13.75	13.36	0.54
Paico	4.5*	T 50	47.50	232.84	245.53	245.52	246.05	0.013021	3.08	15.42	13.69	0.53
Paico	4.5*	T 100	53.20	232.84	245.55	245.52	246.07	0.013182	3.14	16.82	13.96	0.52
Paico	4.257*	T 2	13.75	232.70	244.58	244.51	244.80	0.010037	2.07	6.65	10.78	0.64
Paico	4.257*	T 5	29.80	232.70	244.91	244.91	245.38	0.009871	2.33	12.81	12.74	0.74
Paico	4.257*	T 10	34.40	232.70	245.23	245.00	245.52	0.009815	2.35	14.39	13.28	0.73
Paico	4.257*	T 25	41.30	232.70	245.40	245.13	245.71	0.009266	2.48	16.65	14.55	0.72
Paico	4.257*	T 50	47.50	232.70	245.53	245.24	245.86	0.009228	2.56	18.64	17.97	0.71

HEC-RAS Plan: P_01 River: Paico Reach: Paico (Continued)

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
Paico	4.287*	T 100	53.28	243.78	245.64	245.33	246.99	0.009756	2.61	21.14	20.58	0.71
Paico	4	T 2	13.75	243.45	244.57	244.18	244.68	0.005835	1.28	10.80	11.71	0.46
Paico	4	T 5	29.88	243.45	245.10	244.57	245.35	0.008004	1.76	17.34	17.47	0.50
Paico	4	T 10	34.48	243.45	245.23	244.57	245.53	0.009584	1.82	19.75	20.05	0.50
Paico	4	T 25	41.38	243.45	245.41	244.80	245.68	0.009597	1.88	23.70	23.68	0.50
Paico	4	T 50	47.58	243.45	245.56	244.81	245.74	0.009279	1.92	27.44	26.68	0.49
Paico	4	T 100	53.28	243.45	245.68	245.03	245.85	0.009624	1.94	31.02	29.24	0.48
Paico	3.87	T 2	13.75	243.82	244.49	244.19	244.78	0.009333	1.41	9.75	11.57	0.50
Paico	3.87	T 5	29.88	243.82	245.11	244.54	245.18	0.009391	1.81	16.47	13.68	0.53
Paico	3.87	T 10	34.48	243.82	245.14	244.63	245.32	0.009383	1.88	18.45	14.09	0.53
Paico	3.87	T 25	41.38	243.82	245.30	244.76	245.57	0.009405	2.01	20.54	14.63	0.54
Paico	3.87	T 50	47.58	243.82	245.43	244.87	245.69	0.009488	2.11	22.49	16.14	0.55
Paico	3.87	T 100	53.28	243.82	245.54	244.96	245.79	0.009570	2.20	24.42	19.06	0.55
Paico	3.87	T 2	13.75	243.82	244.40	244.10	244.67	0.009577	1.45	9.50	12.08	0.53
Paico	3.87	T 5	29.88	243.82	244.83	244.47	245.10	0.009438	1.81	16.42	13.51	0.53
Paico	3.87	T 10	34.48	243.82	245.06	244.57	245.24	0.009424	1.88	18.45	14.30	0.54
Paico	3.87	T 25	41.38	243.82	245.23	244.69	245.43	0.009448	2.01	20.57	14.66	0.55
Paico	3.87	T 50	47.58	243.82	245.35	244.80	245.58	0.009527	2.11	22.50	15.34	0.55
Paico	3.87	T 100	53.28	243.82	245.46	244.89	245.70	0.009614	2.20	24.17	15.71	0.57
Paico	3.47	T 2	13.75	243.82	244.32	244.00	244.42	0.009587	1.44	9.56	12.24	0.53
Paico	3.47	T 5	29.88	243.82	244.66	244.36	245.02	0.009531	1.78	16.71	14.15	0.52
Paico	3.47	T 10	34.48	243.82	244.88	244.48	245.16	0.009591	1.86	18.49	14.58	0.53
Paico	3.47	T 25	41.38	243.82	245.15	244.69	245.35	0.009614	1.97	20.85	15.15	0.54
Paico	3.47	T 50	47.58	243.82	245.27	244.71	245.48	0.009405	2.06	22.69	15.61	0.55
Paico	3.47	T 100	53.28	243.82	245.38	244.80	245.62	0.009497	2.17	24.53	16.08	0.56
Paico	3.27	T 2	13.75	243.82	244.25	243.98	244.34	0.009372	1.36	10.11	12.25	0.48
Paico	3.27	T 5	29.88	243.82	244.60	244.27	244.95	0.009544	1.71	17.46	14.47	0.49
Paico	3.27	T 10	34.48	243.82	244.82	244.36	245.08	0.009547	1.78	19.28	14.88	0.50
Paico	3.27	T 25	41.38	243.82	245.09	244.49	245.27	0.009566	1.87	21.73	15.45	0.51
Paico	3.27	T 50	47.58	243.82	245.21	244.60	245.41	0.009407	2.00	23.72	15.88	0.53

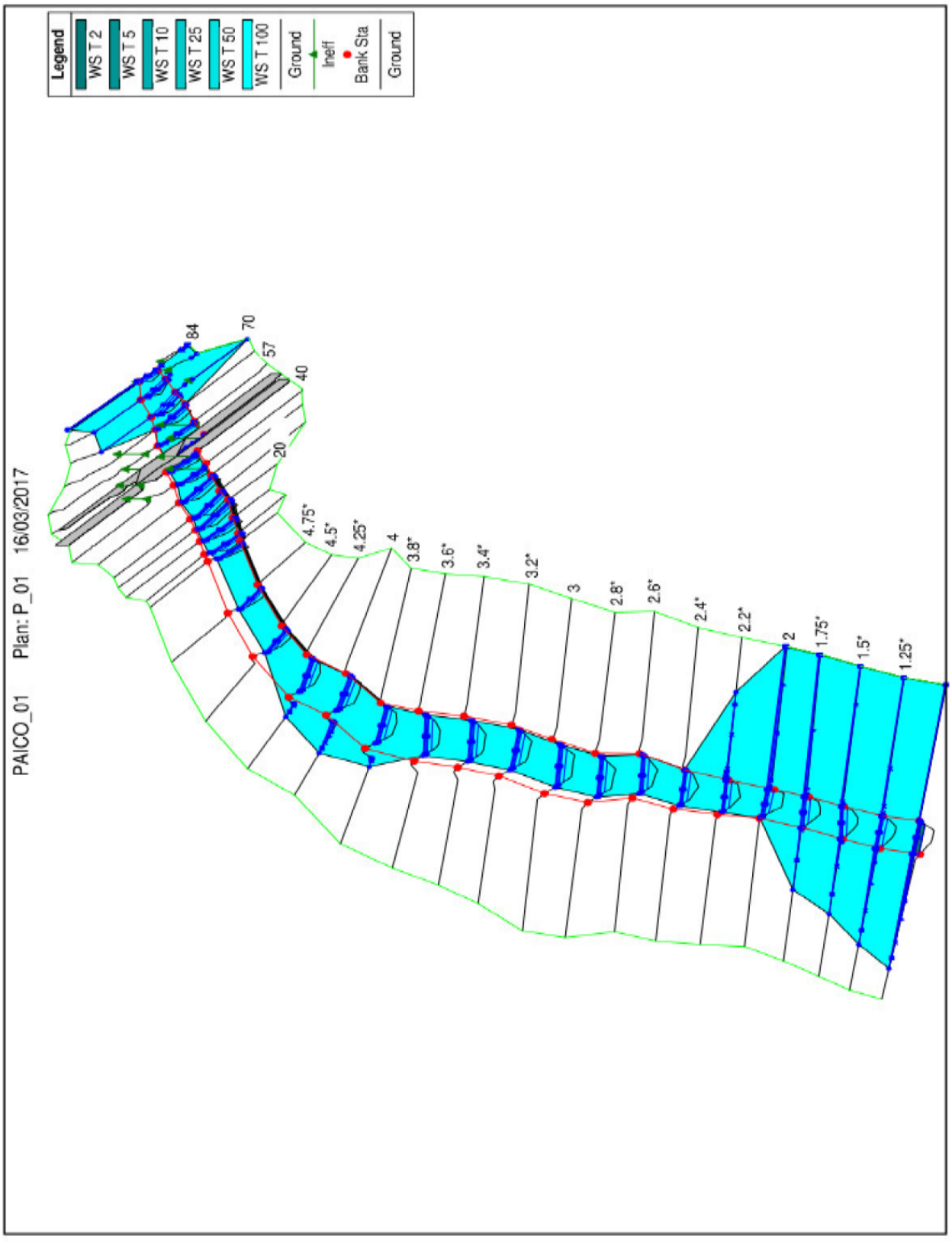
HEC-RAS Plan: P_01 River: Plano Reach: Pluvial (Continued)

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
Plano	3.27	T 100	53.29	282.16	285.31	284.89	285.54	0.0053215	2.10	25.36	16.27	0.54
Plano	3	T 2	18.75	282.07	284.20	283.76	284.29	0.0052315	1.23	11.18	12.57	0.42
Plano	3	T 5	29.80	282.07	284.75	284.14	284.88	0.0052415	1.59	18.72	14.70	0.45
Plano	3	T 10	34.40	282.07	284.87	284.23	285.02	0.0052458	1.67	20.58	15.15	0.46
Plano	3	T 25	41.30	282.07	285.04	284.36	285.23	0.0052545	1.79	23.11	15.76	0.47
Plano	3	T 50	47.50	282.07	285.16	284.46	285.34	0.0052583	1.90	25.04	16.21	0.49
Plano	3	T 100	53.29	282.07	285.26	284.55	285.45	0.0052605	1.99	26.76	16.58	0.50
Plano	2.87	T 2	18.75	282.06	284.11	283.76	284.27	0.0053033	1.41	9.74	11.85	0.50
Plano	2.87	T 5	29.80	282.06	284.68	284.16	284.85	0.0053078	1.78	16.72	14.12	0.52
Plano	2.87	T 10	34.40	282.06	284.79	284.23	284.95	0.0053094	1.85	18.53	14.63	0.53
Plano	2.87	T 25	41.30	282.06	284.93	284.35	285.11	0.0053085	1.88	20.90	15.25	0.54
Plano	2.87	T 50	47.50	282.06	285.05	284.46	285.27	0.0053045	2.00	22.85	15.68	0.55
Plano	2.87	T 100	53.29	282.06	285.14	284.55	285.38	0.0053029	2.21	24.11	15.00	0.57
Plano	2.87	T 2	18.75	282.73	283.99	282.74	284.12	0.0053003	1.63	8.45	11.34	0.60
Plano	2.87	T 5	29.80	282.73	284.54	284.15	284.73	0.0049895	1.69	15.47	13.65	0.58
Plano	2.87	T 10	34.40	282.73	284.67	284.24	284.87	0.0049847	2.01	17.14	14.05	0.58
Plano	2.87	T 25	41.30	282.73	284.82	284.37	285.05	0.0049838	2.14	19.31	14.55	0.59
Plano	2.87	T 50	47.50	282.73	284.93	284.48	285.18	0.0049834	2.29	20.75	14.87	0.62
Plano	2.87	T 100	53.29	282.73	284.99	284.57	285.29	0.0049765	2.43	21.90	15.13	0.64
Plano	2.47	T 2	18.75	282.57	283.86	282.85	284.07	0.0053611	1.70	8.96	11.04	0.63
Plano	2.47	T 5	29.80	282.57	284.44	284.04	284.64	0.0049791	1.88	15.95	12.67	0.58
Plano	2.47	T 10	34.40	282.57	284.56	284.14	284.78	0.0049227	2.09	16.98	13.34	0.59
Plano	2.47	T 25	41.30	282.57	284.70	284.27	284.96	0.0049965	2.24	18.48	13.68	0.62
Plano	2.47	T 50	47.50	282.57	284.77	284.38	285.08	0.0050172	2.44	19.48	13.91	0.66
Plano	2.47	T 100	53.29	282.57	284.82	284.48	285.18	0.0050782	2.65	20.06	14.15	0.71
Plano	2.27	T 2	18.75	282.46	283.79	282.42	283.90	0.0052642	1.51	8.95	10.31	0.51
Plano	2.27	T 5	29.80	282.46	284.37	282.86	284.53	0.0052909	1.51	15.65	12.25	0.53
Plano	2.27	T 10	34.40	282.46	284.49	282.96	284.68	0.0053521	2.02	17.07	12.62	0.55
Plano	2.27	T 25	41.30	282.46	284.62	284.11	284.87	0.0053843	2.21	18.52	35.57	0.58
Plano	2.27	T 50	47.50	282.46	284.68	284.22	284.97	0.0054025	2.43	21.25	39.75	0.62

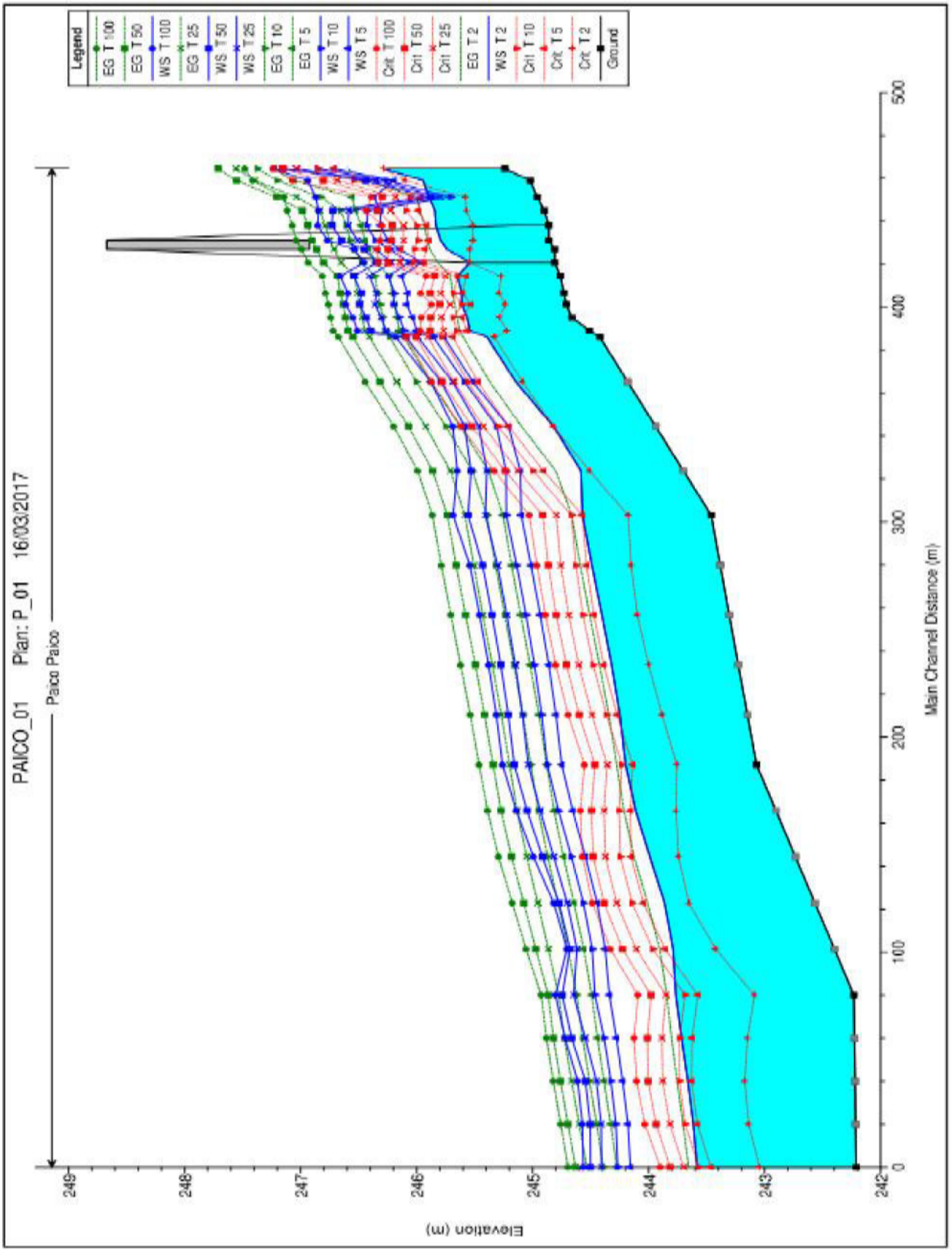
HEC-RAS Plan: P_01 River: Pass Reach: Pass (Continued)

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
Pass	2.2*	T 100	53.20	242.49	244.70	244.33	245.06	0.008213	2.65	22.38	45.32	0.68
Pass	2	T 2	13.75	242.53	243.76	243.05	243.84	0.001725	1.23	11.15	9.68	0.37
Pass	2	T 5	25.80	242.53	244.24	243.58	244.45	0.002850	1.74	18.32	30.28	0.54
Pass	2	T 10	34.40	242.53	244.46	243.85	244.65	0.002850	1.80	23.41	51.48	0.54
Pass	2	T 25	41.30	242.53	244.65	243.85	244.75	0.001883	1.72	34.96	69.82	0.47
Pass	2	T 50	47.50	242.53	244.74	243.88	244.86	0.001771	1.72	41.54	81.58	0.46
Pass	2	T 100	53.20	242.53	244.80	243.88	244.93	0.001840	1.78	40.44	81.16	0.47
Pass	1.75*	T 2	13.75	242.32	243.71	243.15	243.80	0.008169	1.31	10.49	10.83	0.47
Pass	1.75*	T 5	25.80	242.32	244.28	243.52	244.44	0.008470	1.79	16.78	12.56	0.48
Pass	1.75*	T 10	34.40	242.32	244.38	243.72	244.57	0.008830	1.91	19.29	25.72	0.48
Pass	1.75*	T 25	41.30	242.32	244.55	243.88	244.72	0.008361	1.94	28.08	68.18	0.48
Pass	1.75*	T 50	47.50	242.32	244.66	243.88	244.82	0.008290	1.90	36.30	79.83	0.48
Pass	1.75*	T 100	53.20	242.32	244.72	244.12	244.86	0.008361	1.95	41.54	81.56	0.48
Pass	1.5*	T 2	13.75	242.32	243.66	243.17	243.75	0.008325	1.35	10.17	10.58	0.44
Pass	1.5*	T 5	25.80	242.32	244.23	243.53	244.36	0.008831	1.78	16.61	13.78	0.48
Pass	1.5*	T 10	34.40	242.32	244.33	243.72	244.51	0.008945	1.91	18.27	14.55	0.51
Pass	1.5*	T 25	41.30	242.32	244.49	243.88	244.66	0.008128	2.08	22.72	62.71	0.53
Pass	1.5*	T 50	47.50	242.32	244.61	243.88	244.75	0.008347	2.13	30.32	69.66	0.53
Pass	1.5*	T 100	53.20	242.32	244.81	243.88	244.82	0.008368	2.17	36.47	86.56	0.53
Pass	1.25*	T 2	13.75	242.32	243.61	243.11	243.70	0.008253	1.32	10.43	11.49	0.44
Pass	1.25*	T 5	25.80	242.32	244.18	243.58	244.32	0.008348	1.71	17.86	18.15	0.47
Pass	1.25*	T 10	34.40	242.32	244.28	243.65	244.43	0.008361	1.82	20.19	26.86	0.48
Pass	1.25*	T 25	41.30	242.32	244.41	243.82	244.60	0.008751	1.96	24.53	53.53	0.50
Pass	1.25*	T 50	47.50	242.32	244.50	243.84	244.69	0.008727	2.02	32.27	69.48	0.50
Pass	1.25*	T 100	53.20	242.32	244.57	243.84	244.76	0.008676	2.06	38.08	114.58	0.50
Pass	1	T 2	13.75	242.24	243.58	243.04	243.66	0.001901	1.19	11.60	12.58	0.38
Pass	1	T 5	25.80	242.24	244.16	243.51	244.27	0.001902	1.62	21.77	21.48	0.47
Pass	1	T 10	34.40	242.24	244.27	243.57	244.39	0.001903	1.61	25.70	29.68	0.47
Pass	1	T 25	41.30	242.24	244.41	243.70	244.53	0.001903	1.68	31.73	48.53	0.48
Pass	1	T 50	47.50	242.24	244.50	243.81	244.63	0.001903	1.72	38.28	118.48	0.48

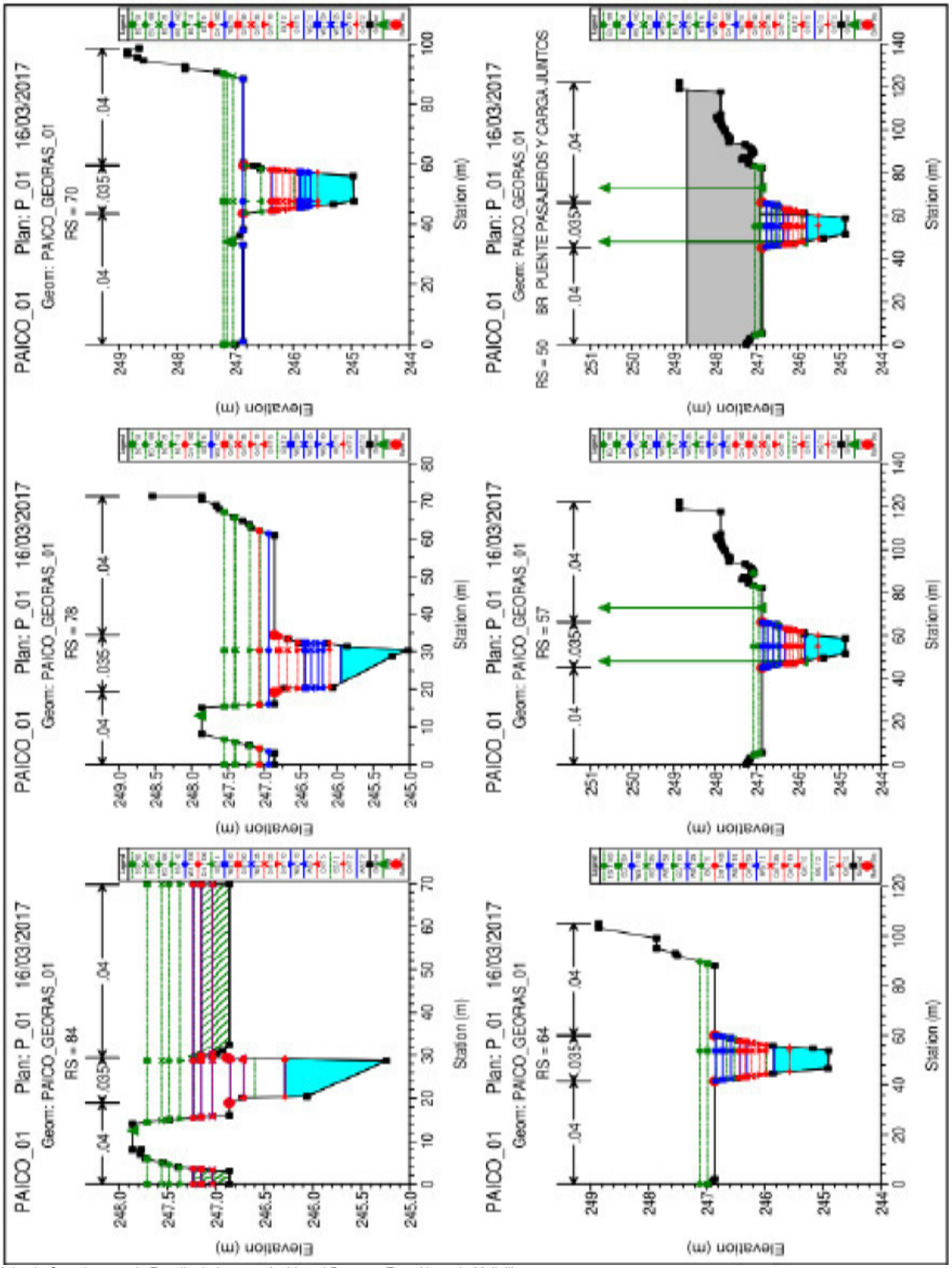
Vista Isométrica – Modelación

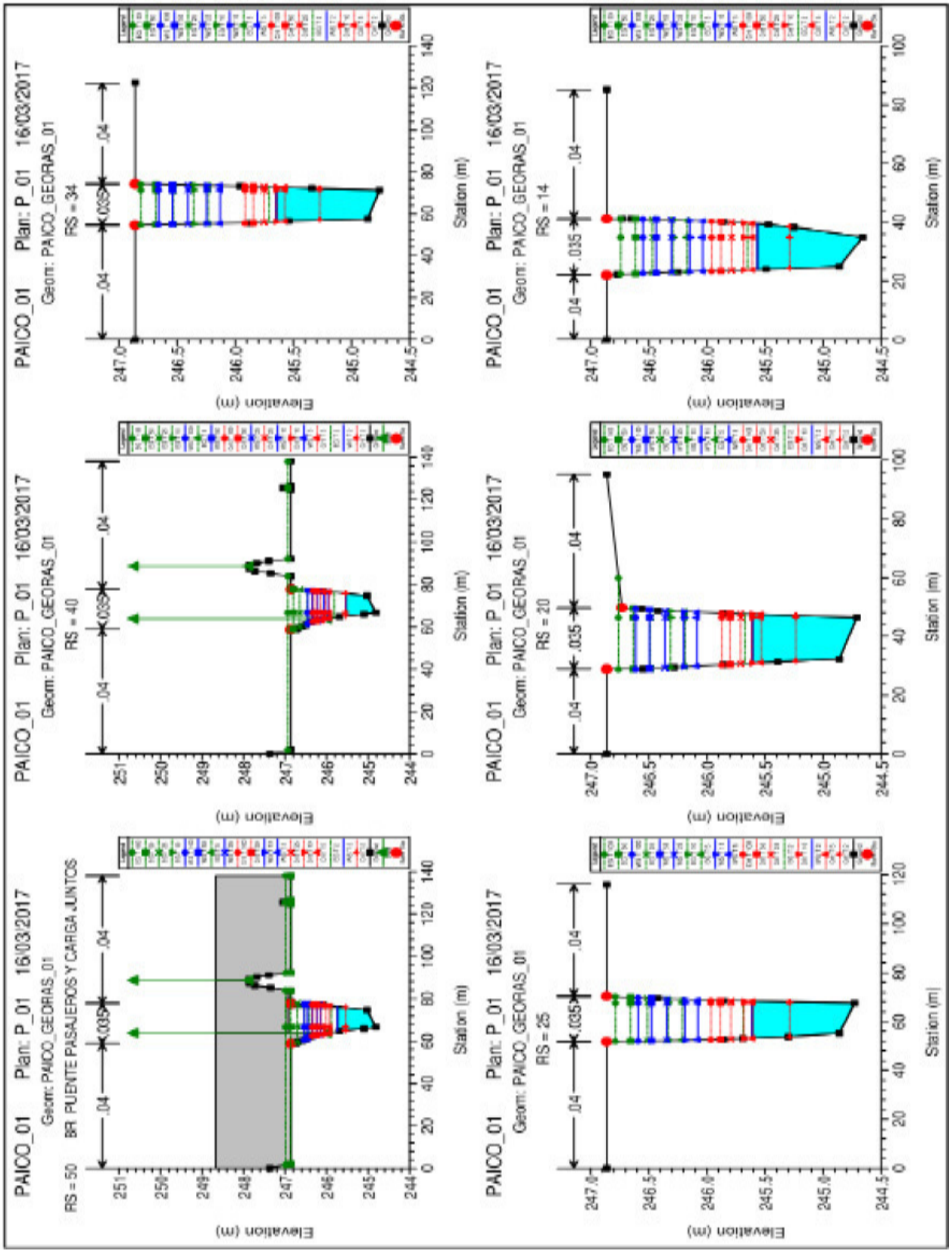

Legend
WS T 2
WS T 5
WS T 10
WS T 25
WS T 50
WS T 100
Ground
Ineff
Bank Sta
Ground
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
84
70
57
40
20
4.75*
4.5*
4.25*
4
3.8*
3.6*
3.4*
3.2*
3
2.8*
2.6*
2.4*
2.2*
2
1.75*
1.5*
1.25*

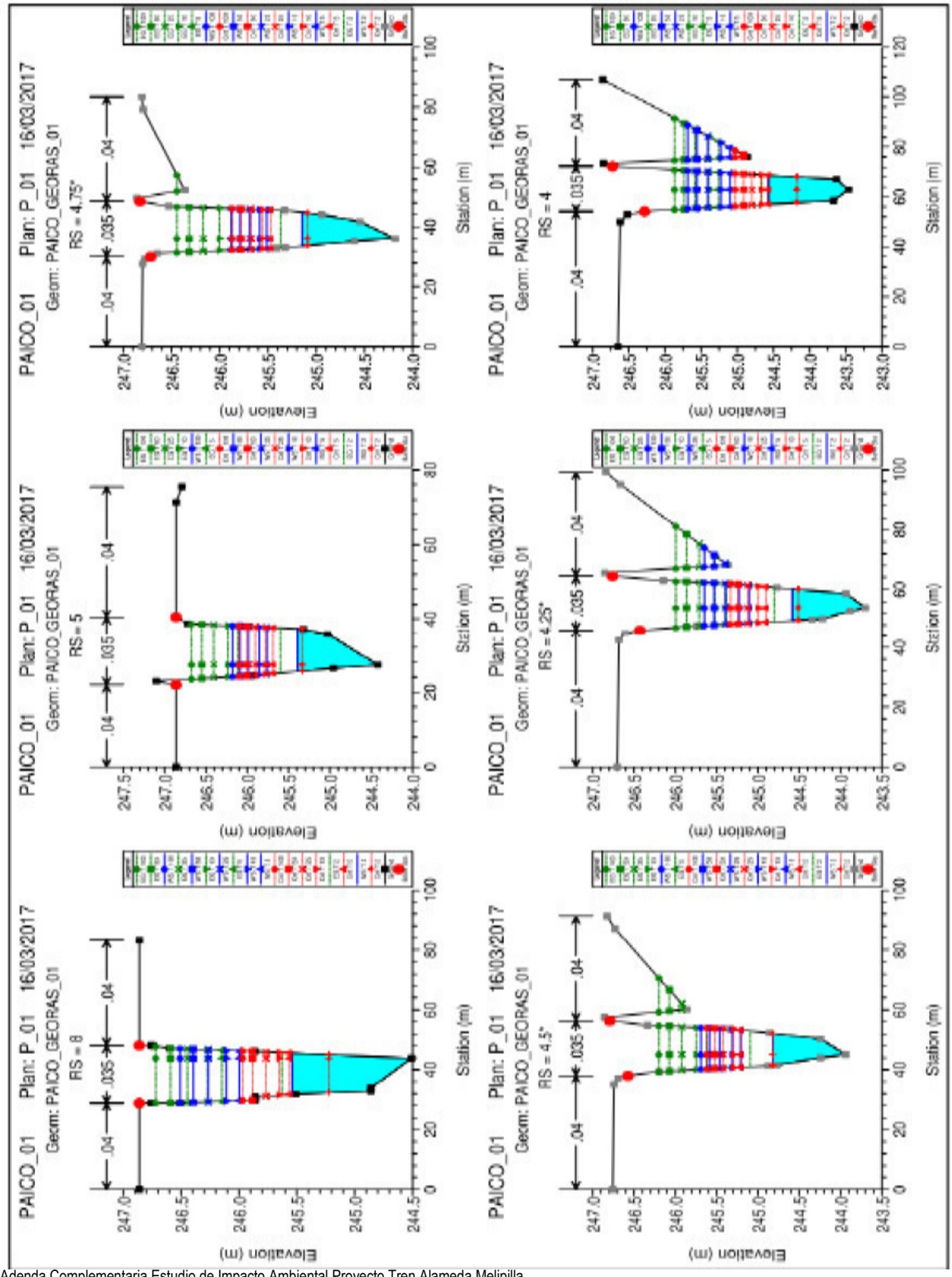
Perfil Longitudinal

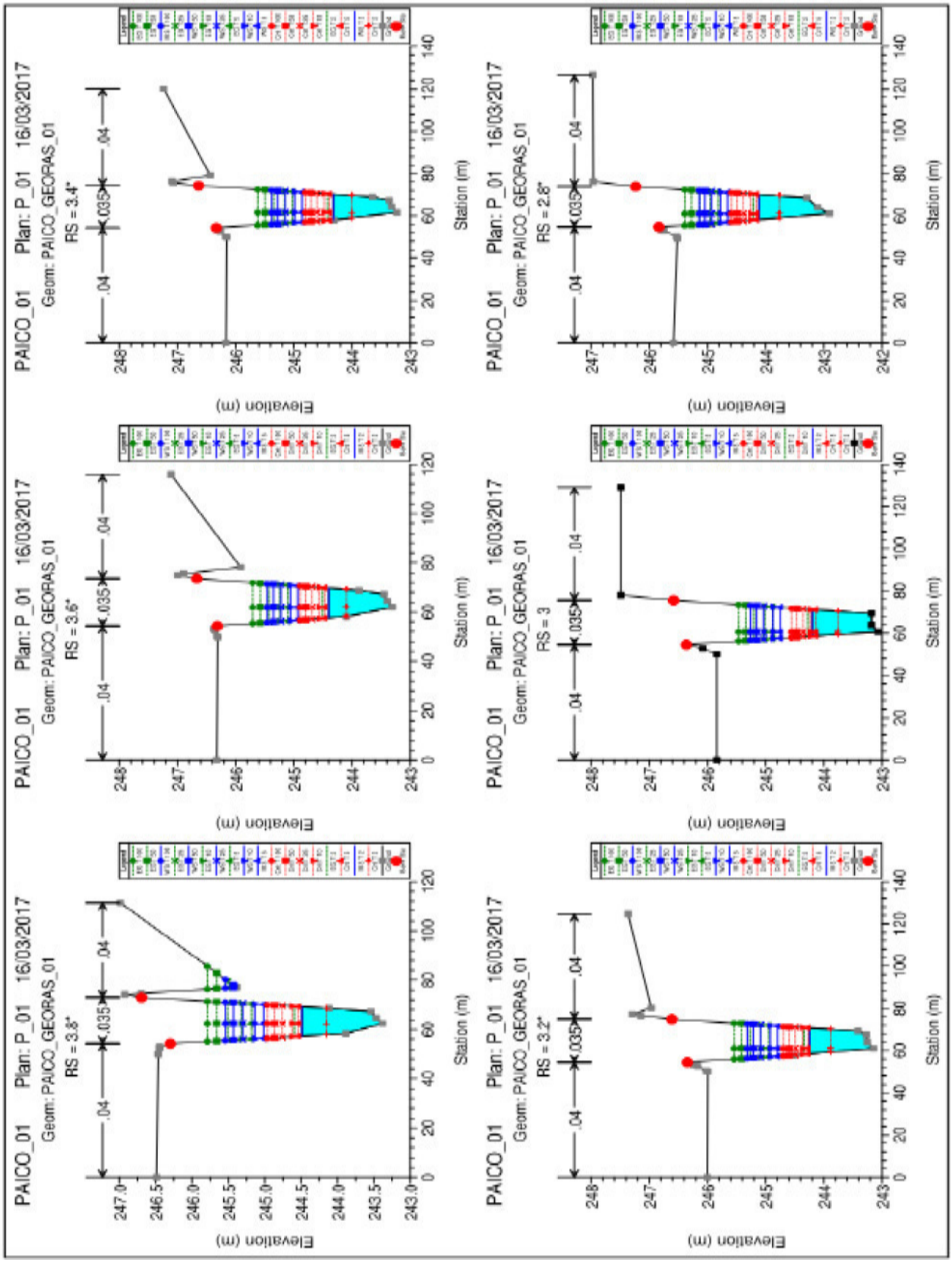

Legend
EG T 100
EG T 50
WS T 100
EG T 25
WS T 50
WS T 25
EG T 10
EG T 5
WS T 10
WS T 5
Crit T 100
Crit T 50
Crit T 25
EG T 2
WS T 2
Crit T 10
Crit T 5
Crit T 2
Ground
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Paico Paico
Main Channel Distance (m)
Elevation (m)
249
248
247
246
245
244
243
242
0
100
200
300
400
500

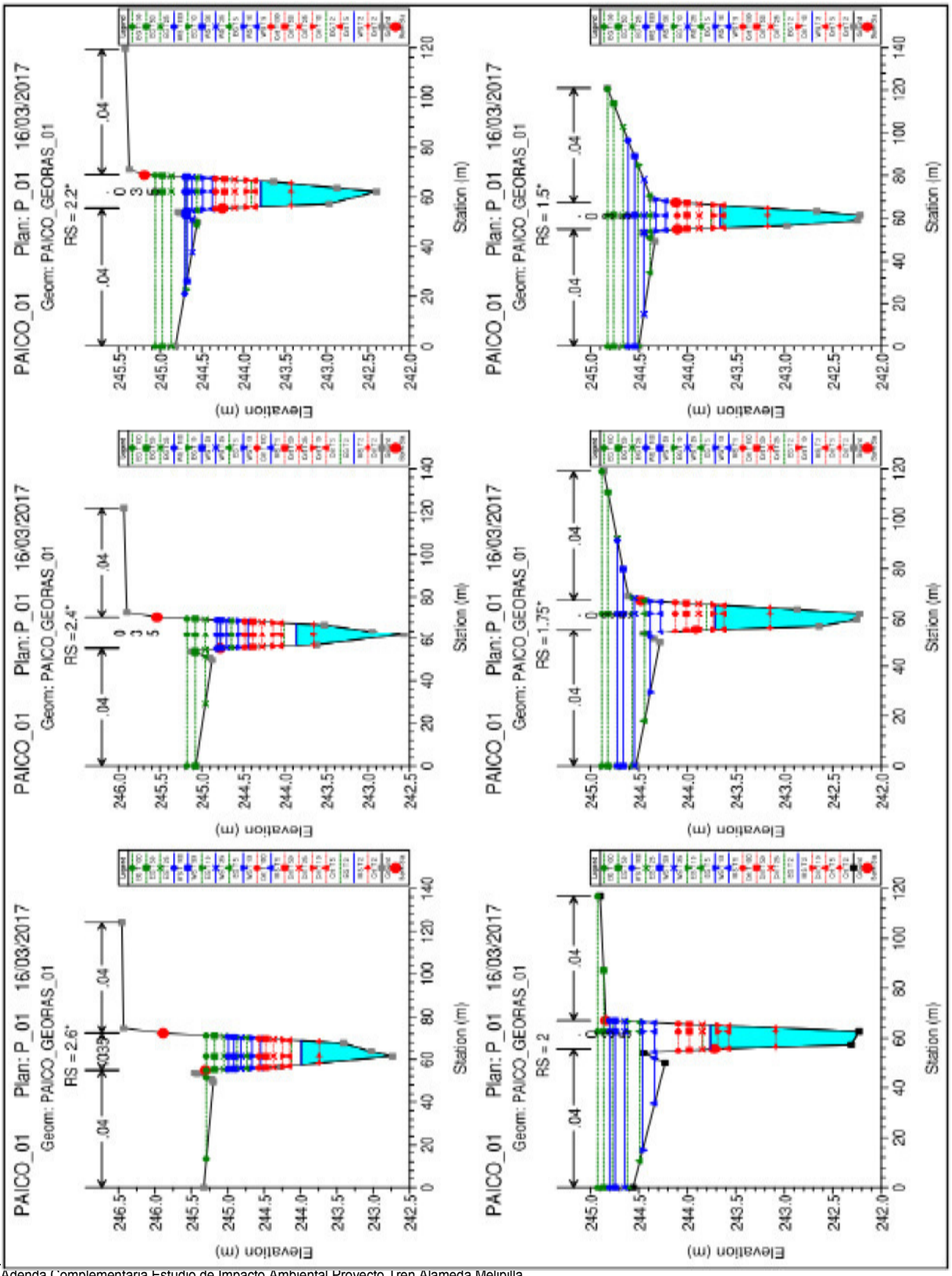
Perfiles Transversales

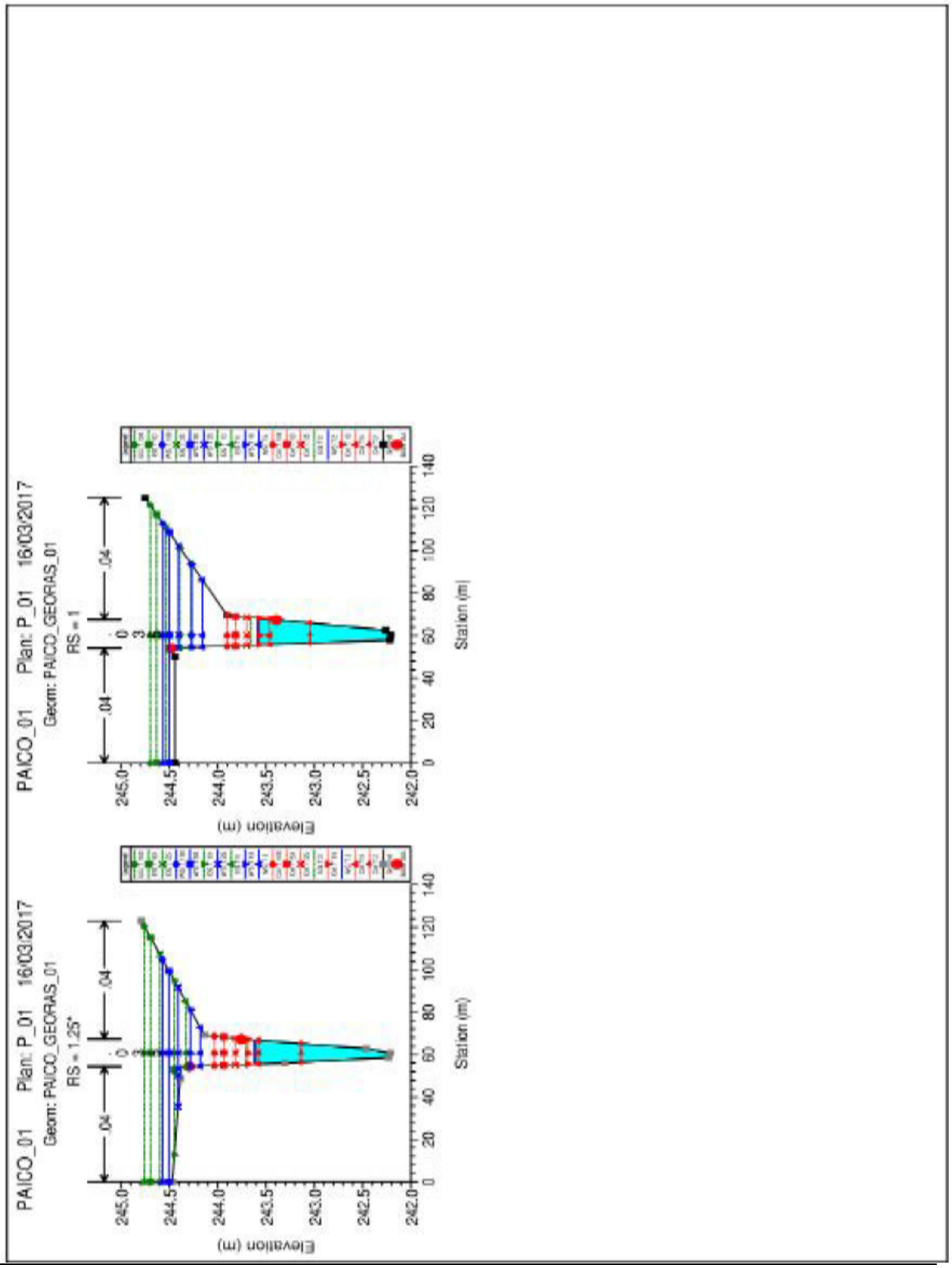

PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 70
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 50 BR PUENTE PASAJEROS Y CARGA JUNTOS
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 78
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 57
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 84
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 64
Elevation (m)
Station (m)


PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 34
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 14
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 40
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 20
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 50 BR PUENTE PASAJEROS Y CARGA JUNTOS
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 25
Elevation (m)
Station (m)


PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 4.75*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 4
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 5
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 4.25*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 8
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 4.5*
Elevation (m)
Station (m)


PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 3.4*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 2.8*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 3.6*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 3
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 3.8*
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 3.2*
Elevation (m)
Station (m)


PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 2.2*
RS = 1.5*
RS = 2.4*
RS = 1.75*
RS = 2.6*
RS = 2
Elevation (m)
Station (m)


PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 1
Elevation (m)
Station (m)
PAICO_01 Plan: P_01 16/03/2017
Geom: PAICO_GEORAS_01
RS = 1.25*
Elevation (m)
Station (m)