

\*\*\*\*\*  
 NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el informe.  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 Opciones de Análisis  
 \*\*\*\*\*

Unidades de Caudal ..... LPS  
 Modelos utilizados:  
   Lluvia/Escurrentía ..... SI  
   Deshielo de Nieve ..... NO  
   Flujo Subterráneo ..... NO  
   Cálculo Hidráulico ..... SI  
   Permitir Estancamiento . NO  
   Calidad del Agua ..... NO  
 Método de Infiltración ..... CURVE NUMBER  
 Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE  
 Fecha de Comienzo ..... NOV-13-2022 23:00:00  
 Fecha de Finalización ..... NOV-14-2022 03:00:00  
 Días Previos sin Lluvia ..... 0.0  
 Report Time Step ..... 00:15:00  
 Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:05:00  
 Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00  
 Intervalo de Cálculo Hidráulico . 30.00 s

ADVERTENCIA 02: se ha aumentado la profundidad del Nudo N-4  
 ADVERTENCIA 02: se ha aumentado la profundidad del Nudo N-5

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Elementos  
 \*\*\*\*\*

Número de Pluviómetros .... 1  
 Número de Subcuencas ..... 10  
 Número de Nudos ..... 20  
 Número de Líneas ..... 10  
 Número de Contaminantes ... 0  
 Número de Usos del Suelo .. 0

\*\*\*\*\*  
 Resumen de lluvias  
 \*\*\*\*\*

Nombre	Origen de datos	Tipo Datos	Intervalo Registro
LLUVIA11	Total	INTENSITY	60 min.

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Subcuencas  
 \*\*\*\*\*

Nombre	Area	Ancho	%Imperm.	%Pend.	Pluviómetro	Pto.Descarga
C-1	9.70	286.92	1.00	2.1000	LLUVIA11	N-1
C-2	6.76	158.32	1.00	1.8700	LLUVIA11	N-2
C-3	10.16	229.28	1.00	2.7100	LLUVIA11	N-3
C-4	3.99	124.70	1.00	1.8800	LLUVIA11	N-4
C-5	2.24	96.08	1.00	2.1400	LLUVIA11	N-5
C-6	0.66	35.01	1.00	3.1800	LLUVIA11	N-6
C-7	6.19	131.56	1.00	2.7600	LLUVIA11	N-7
C-8	4.60	98.94	1.00	3.8700	LLUVIA11	N-8

C-9	4.33	102.57	1.00	8.0500	LLUVIA11	N-9
C-10	9.10	168.74	1.00	9.2700	LLUVIA11	N-10

\*\*\*\*\*  
Resumen de Nodos  
\*\*\*\*\*

Nombre	Tipo	Cota de Fondo	Prof. Máxima	Area Inun.	Aportes Externos
N-1	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-2	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-3	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-4	JUNCTION	0.00	2.26	0.0	
N-5	JUNCTION	0.00	2.23	0.0	
N-6	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-7	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-8	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-9	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
N-10	JUNCTION	0.00	2.00	0.0	
D-1	OUTFALL	0.00	1.51	0.0	
D-2	OUTFALL	0.00	1.01	0.0	
D-3	OUTFALL	0.00	1.01	0.0	
D-4	OUTFALL	0.00	2.01	0.0	
D-5	OUTFALL	0.00	2.01	0.0	
D-6	OUTFALL	0.00	1.51	0.0	
D-7	OUTFALL	0.00	1.01	0.0	
D-8	OUTFALL	0.00	1.01	0.0	
D-9	OUTFALL	0.00	0.81	0.0	
D-10	OUTFALL	0.00	1.01	0.0	

\*\*\*\*\*  
Resumen de Líneas  
\*\*\*\*\*

Nombre	Nudo Inicial	Nudo Final	Tipo	Longitud	%Pdte.	Rugosidad
ALC-1	N-1	D-1	CONDUIT	11.0	1.0001	0.0130
ALC-2	N-2	D-2	CONDUIT	11.0	1.5442	0.0150
ALC-3	N-3	D-3	CONDUIT	11.0	1.5400	0.0130
ALC-4	N-4	D-4	CONDUIT	11.0	2.2733	0.0150
ALC-5	N-5	D-5	CONDUIT	11.0	2.0004	0.0130
ALC-6	N-6	D-6	CONDUIT	11.0	2.0004	0.0130
ALC-7	N-7	D-7	CONDUIT	14.0	2.0033	0.0210
ALC-8	N-8	D-8	CONDUIT	13.0	2.0004	0.0210
ALC-9	N-9	D-9	CONDUIT	13.4	2.0153	0.0210
ALC-10	N-10	D-10	CONDUIT	11.0	1.0001	0.0130

\*\*\*\*\*  
Resumen de Secciones Transversales  
\*\*\*\*\*

Conducto	Forma Geom.	Nivel Lleno	Area Lleno	Rad. Hid.	Ancho Máximo	N° de Tramos	Caudal Lleno
ALC-1	RECT_CLOSED	1.50	2.25	0.37	1.50	1	9001.13
ALC-2	CIRCULAR	1.00	0.79	0.25	1.00	1	2582.31
ALC-3	RECT_CLOSED	1.00	1.00	0.25	1.00	1	3788.57
ALC-4	RECT_CLOSED	2.00	3.00	0.43	1.50	1	17142.26
ALC-5	RECT_CLOSED	2.00	3.20	0.44	1.60	1	20276.96
ALC-6	RECT_CLOSED	1.50	2.25	0.37	1.50	1	12730.47
ALC-7	CIRCULAR	1.00	0.79	0.25	1.00	1	2100.84
ALC-8	CIRCULAR	1.00	0.79	0.25	1.00	1	2099.34
ALC-9	CIRCULAR	0.80	0.50	0.20	0.80	1	1162.17
ALC-10	RECT_CLOSED	1.00	1.00	0.25	1.00	1	3052.95

\*\*\*\*\*  
Resumen de Secciones Irreg.  
\*\*\*\*\*

Sección Canaldetierra

Area:

0.0004	0.0016	0.0036	0.0064	0.0100
0.0144	0.0196	0.0256	0.0324	0.0400
0.0484	0.0576	0.0676	0.0784	0.0900
0.1024	0.1156	0.1296	0.1444	0.1600
0.1764	0.1936	0.2116	0.2304	0.2500
0.2704	0.2916	0.3136	0.3364	0.3600
0.3844	0.4096	0.4356	0.4624	0.4900
0.5184	0.5476	0.5776	0.6084	0.6400
0.6724	0.7056	0.7396	0.7744	0.8100
0.8464	0.8836	0.9216	0.9604	1.0000

Radio Hid.:

0.0200	0.0400	0.0600	0.0800	0.1000
0.1200	0.1400	0.1600	0.1800	0.2000
0.2200	0.2400	0.2600	0.2800	0.3000
0.3200	0.3400	0.3600	0.3800	0.4000
0.4200	0.4400	0.4600	0.4800	0.5000
0.5200	0.5400	0.5600	0.5800	0.6000
0.6200	0.6400	0.6600	0.6800	0.7000
0.7200	0.7400	0.7600	0.7800	0.8000
0.8200	0.8400	0.8600	0.8800	0.9000
0.9200	0.9400	0.9600	0.9800	1.0000

Ancho:

0.0200	0.0400	0.0600	0.0800	0.1000
0.1200	0.1400	0.1600	0.1800	0.2000
0.2200	0.2400	0.2600	0.2800	0.3000
0.3200	0.3400	0.3600	0.3800	0.4000
0.4200	0.4400	0.4600	0.4800	0.5000
0.5200	0.5400	0.5600	0.5800	0.6000
0.6200	0.6400	0.6600	0.6800	0.7000
0.7200	0.7400	0.7600	0.7800	0.8000
0.8200	0.8400	0.8600	0.8800	0.9000
0.9200	0.9400	0.9600	0.9800	1.0000

\*\*\*\*\*  
Errores de Continuidad  
\*\*\*\*\*

*****	Volumen	Altura
Escorrentía Superficial	ha · m	mm
*****	-----	-----
Precipitación Total .....	4.669	80.870
Pérdidas Evaporación .....	0.032	0.562
Pérdidas Infiltración ....	3.745	64.879
Escorrentía Superficial ..	0.868	15.043
Almacen. Final en Sup. ...	0.026	0.456
% Error Continuidad .....	-0.088	

*****	Volumen	Volumen
Cálculo Hidráulico	ha · m	10 <sup>3</sup> m3
*****	-----	-----
Aporte Tiempo Seco .....	0.000	0.000
Aporte Tiempo Lluvia .....	0.869	8.690
Aporte Ag. Subterránea ...	0.000	0.000
Aportes dep. Lluvia .....	0.000	0.000
Aportes Externos .....	0.000	0.000
Descargas Externas .....	0.877	8.773
Descargas Internas .....	0.000	0.000
Perdidas Almacenamiento ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Inicial ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Final ....	0.000	0.000
% Error Continuidad .....	-0.960	

\*\*\*\*\*  
Incremento de Tiempo de Elementos Críticos  
\*\*\*\*\*  
Línea ALC-10 (46.72%)  
Línea ALC-3 (28.22%)  
Línea ALC-9 (2.58%)

\*\*\*\*\*  
Máximos Índices de Inestabilidad  
\*\*\*\*\*  
Todas las líneas son estables.

\*\*\*\*\*  
Resumen de Intervalo de Cálculo Hidráulico  
\*\*\*\*\*  
Intervalo de Cálculo Mínimo : 2.05 seg  
Intervalo de Cálculo Medio : 8.45 seg  
Intervalo de Cálculo Máximo : 30.00 seg  
Porcentaje en Reg. Permanente : 0.00  
Nº medio iteraciones por instante : 2.09

\*\*\*\*\*  
Resumen de Escorrentía en Subcuencas  
\*\*\*\*\*

Subcuenca	Precip Total mm	Aporte Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Escor. Total mm	Escor. Total 10 <sup>6</sup> ltr	Escor. Punta LPS	Coef. Escor.
C-1	80.870	0.000	0.578	64.550	14.894	1.445	712.822	0.184
C-2	80.870	0.000	0.578	67.435	12.879	0.871	407.700	0.159
C-3	80.870	0.000	0.578	66.420	13.895	1.412	679.131	0.172
C-4	80.870	0.000	0.578	64.550	14.891	0.594	293.157	0.184
C-5	80.870	0.000	0.577	62.731	17.589	0.394	206.733	0.217
C-6	80.870	0.000	0.577	59.092	20.435	0.135	74.361	0.253
C-7	80.870	0.000	0.578	66.769	13.545	0.838	399.643	0.167
C-8	80.870	0.000	0.578	64.550	14.802	0.681	335.214	0.183
C-9	80.870	0.000	0.376	62.475	18.072	0.783	414.644	0.223
C-10	80.870	0.000	0.578	62.731	16.841	1.533	791.480	0.208
Sistema	80.870	0.000	0.562	64.879	15.043	8.685	4314.886	0.186

\*\*\*\*\*  
Resumen de Nivel en Nudos  
\*\*\*\*\*

Nudo	Tipo	Nivel Medio Metros	Nivel Máximo Metros	Altura Máxima Metros	Instante Nivel Máx. días hr:min
N-1	JUNCTION	0.26	0.42	0.42	0 02:00
N-2	JUNCTION	0.37	0.53	0.53	0 02:00
N-3	JUNCTION	0.23	0.54	0.54	0 02:00
N-4	JUNCTION	0.31	0.38	0.38	0 02:00
N-5	JUNCTION	-1.59	0.39	0.39	0 01:27
N-6	JUNCTION	0.23	0.28	0.28	0 02:00
N-7	JUNCTION	0.47	0.63	0.63	0 02:00
N-8	JUNCTION	0.43	0.58	0.58	0 02:00
N-9	JUNCTION	0.47	0.67	0.67	0 02:00
N-10	JUNCTION	0.25	0.56	0.56	0 02:00
D-1	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-2	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-3	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-4	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-5	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-6	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-7	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-8	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-9	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00
D-10	OUTFALL	0.00	0.00	0.00	0 00:00

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Aportes en Nudos  
 \*\*\*\*\*

Nudo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo días hr:min	Volumen Aporte Lateral 10^6 ltr	Volumen Aporte Total 10^6 ltr
N-1	JUNCTION	712.69	712.69	0 02:00	1.445	1.446
N-2	JUNCTION	407.62	407.62	0 02:00	0.870	0.871
N-3	JUNCTION	679.00	679.00	0 02:00	1.411	1.413
N-4	JUNCTION	293.10	293.10	0 02:00	0.594	0.595
N-5	JUNCTION	206.70	206.70	0 02:00	0.394	0.394
N-6	JUNCTION	74.35	74.35	0 02:00	0.135	0.135
N-7	JUNCTION	399.57	399.57	0 02:00	0.838	0.839
N-8	JUNCTION	335.15	335.15	0 02:00	0.681	0.681
N-9	JUNCTION	414.58	414.58	0 02:00	0.783	0.783
N-10	JUNCTION	791.35	791.35	0 02:00	1.533	1.534
D-1	OUTFALL	0.00	711.96	0 02:00	0.000	1.446
D-2	OUTFALL	0.00	407.17	0 02:00	0.000	0.871
D-3	OUTFALL	0.00	1181.32	0 01:16	0.000	1.435
D-4	OUTFALL	0.00	292.76	0 02:00	0.000	0.594
D-5	OUTFALL	0.00	2422.15	0 01:27	0.000	0.435
D-6	OUTFALL	0.00	74.21	0 02:00	0.000	0.135
D-7	OUTFALL	0.00	398.89	0 02:00	0.000	0.838
D-8	OUTFALL	0.00	334.59	0 02:00	0.000	0.681
D-9	OUTFALL	0.00	413.88	0 02:00	0.000	0.783
D-10	OUTFALL	0.00	1096.78	0 01:18	0.000	1.556

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Sobrecarga en Nudos  
 \*\*\*\*\*

No hay ningún nudo en carga.

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Inundación en Nudos  
 \*\*\*\*\*

No hay inundación en ningún nudo.

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Vertidos  
 \*\*\*\*\*

Nudo de Vertido	Frec. Vertido % Porc.	Caudal Medio LPS	Caudal Máximo LPS	Volumen Total 10^6 ltr
D-1	85.25	375.15	711.96	1.446
D-2	85.66	218.31	407.17	0.871
D-3	83.49	369.48	1181.32	1.435
D-4	85.13	154.49	292.76	0.594
D-5	70.43	121.03	2422.15	0.435
D-6	82.14	38.43	74.21	0.135
D-7	85.71	212.26	398.89	0.838
D-8	85.07	176.93	334.59	0.681
D-9	84.37	213.19	413.88	0.783
D-10	82.38	422.56	1096.78	1.556
Sistema	82.96	2301.82	4308.66	8.773

\*\*\*\*\*  
 Resumen de Caudal en Líneas  
 \*\*\*\*\*

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
ALC-1	CONDUIT	711.96	0 02:00	1.89	0.08	0.17
ALC-2	CONDUIT	407.17	0 02:00	1.98	0.16	0.31
ALC-3	CONDUIT	1181.32	0 01:16	6.86	0.31	0.30
ALC-4	CONDUIT	292.76	0 02:00	1.75	0.02	0.06
ALC-5	CONDUIT	2422.15	0 01:27	8.01	0.12	0.09
ALC-6	CONDUIT	74.21	0 02:00	2.73	0.01	0.03
ALC-7	CONDUIT	398.89	0 02:00	3.15	0.19	0.32
ALC-8	CONDUIT	334.59	0 02:00	1.75	0.16	0.29
ALC-9	CONDUIT	413.88	0 02:00	3.14	0.36	0.45
ALC-10	CONDUIT	1096.78	0 01:18	6.20	0.36	0.38

\*\*\*\*\*  
Resumen de Tipo de Flujo  
\*\*\*\*\*

Conducto	Longitud Ajustada /Real	- Fracción de Tiempo en Tipo de Flujo -						Número Froude Medio	Variac Media Caudal	
		Seco Todo	(Caudal Ini.	0) Final	Sub- Crit.	Super Crít.	Critico Ini. Final			
ALC-1	1.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	1.07	0.0001
ALC-2	1.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.19	0.0002
ALC-3	1.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	1.20	0.0008
ALC-4	1.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	1.45	0.0000
ALC-5	1.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	1.27	0.0002
ALC-6	1.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	1.43	0.0000
ALC-7	1.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.07	0.0002
ALC-8	1.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	1.06	0.0002
ALC-9	1.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.02	0.0004
ALC-10	1.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.97	0.0010

\*\*\*\*\*  
Resumen de Sobrecarga de Conductos  
\*\*\*\*\*

Ningún conducto ha entrado en carga.

Instante de inicio del análisis: Thu Mar 23 00:26:23 2023  
Instante de finalización del análisis: Thu Mar 23 00:26:23 2023  
Tiempo total transcurrido: < 1 s



## INDICE

### ESTUDIO HIDROLOGICO

<b>3.7.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>3.7.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....</b>	<b>2</b>
3.7.2.1 TEMPERATURA.....	3
3.7.2.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.....	3
3.7.2.4 HUMEDAD RELATIVA.....	4
3.7.2.5 GRANIZADAS.....	4
3.7.2.6 HELADAS.....	4
<b>3.7.3 RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>4</b>
3.7.3.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.....	4
<b>3.7.4 PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS.....</b>	<b>7</b>
3.7.4.1 ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA.....	7
3.7.4.2 ÍNDICE DE COMPACIDAD O INDICE DE GRAVELIUS.....	7
3.7.4.3. RECTANGULO EQUIVALENTE.....	8
3.7.4.4. PENDIENTE DE LA CUENCA.....	8
3.7.4.5. PENDIENTE DEL CAUCE.....	9
<b>3.7.5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DE DRENAJE.....</b>	<b>11</b>
<b>3.7.6. ANALISIS PLUVIOMÉTRICO.....</b>	<b>12</b>
3.7.6.1. PATRONES DE COMPORTAMIENTO REGIONAL DE LA PRECIPITACIÓN.....	12
3.7.6.2. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	12
3.7.6.3. ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN.....	22
<b>3.7.7 INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA.-.....</b>	<b>24</b>
<b>3.7.8 CALCULO DE LA INTENSIDA DE PRECIPITACIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.7.9 ESTUDIO DE TIEMPO DE RETORNO A UTILIZAR.....</b>	<b>27</b>
<b>3.7.10 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS.....</b>	<b>30</b>
3.7.10.1 METODO RACIONAL.....	30
3.7.10.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	33
3.7.10.3 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.....	34
3.7.10.4 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO.....	34



## 3.7. ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 3.7.1 INTRODUCCIÓN.

Este acápite trata el estudio hidrológico del tramo " Construcción Obras de Conclusión Asfaltado Camino San Andrés – San Pedro de Sola", en el cual se realiza el análisis pluviométrico, determinación de las precipitaciones de diseño, modelos de precipitación - escurrimiento y caudales de crecidas para el diseño hidráulico de las obras de arte a complementar según la inspección en campo realizada y el informe técnico presentado volúmenes por ejecutar, realizado por administración propia.

Ante la falta de registros de caudales, se recurrió a modelos hidrológicos de precipitación - escurrimiento para la determinación de los caudales de crecida. Los modelos de este tipo evalúan las tormentas a partir de los eventos extremos de precipitación, definiendo precipitaciones probables; de este modo es posible aplicar hidrogramas unitarios instantáneos o sintéticos para la determinación de los caudales de crecida. Es necesario determinar las características geomorfológicas de las cuencas de aporte y posteriormente incorporarlas en la determinación de la respuesta hidrológica.

La determinación de las curvas de intensidad - duración - frecuencia se basa en registros continuos de las lluvias a lo largo de un período de registro relativamente largo, como para poder realizar un análisis estadístico de las intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo. Sin embargo, la red pluviométrica nacional se compone de instrumentos que miden la precipitación totalizada diaria (en un mismo intervalo de 24 horas) y no así la medida de la precipitación de 24 horas o en intervalos más cortos a 24 horas, como es el caso de los registros continuos medidos en los pluviógrafos, o instrumentos de medición continua modernos donde la transmisión de datos se desarrollan por data-loggers que almacenan la información en pulsos de menor intervalo de tiempo. En el caso del presente proyecto, no se tienen registros continuos de la lluvia en la zona de influencia del proyecto, por lo que no es posible determinar directamente las curvas de intensidad - duración - frecuencia para cada una de las zonas, por lo que se hace necesario construir la relación intensidad - duración - frecuencia en forma indirecta.





temperatura en los valles central de la provincia Cercador, pueden alcanzar valores máximos extremos de hasta 39 °C en los meses de septiembre y diciembre y mínimos extremos de hasta -8 °C en los meses de junio a agosto cuando se presentan los denominados surazos.

El camino en estudio se inicia a 20 km de la ciudad de Tarija, tomando dirección sureste y pasando por las comunidades como Turumayo, Guerra Huyco, Tolomocito Centro, San Andrés.

En el sector del camino la estación meteorológica más cercana es la de San Andrés dentro de la cual se encuentran registrados datos como del clima que predomina en la zona próxima al camino su ubicación geográfica es 21°37'24" de Latitud Sur y 64°48'54" de Longitud Oeste y una altura de 1987 m.s.n.m; de acuerdo a la información que se pudo recabar la estación tiene registros desde el año 1975 – 2007, de los cuales para el análisis se tomo en cuenta solo los que tengan registro completo de las lluvias máximas diarias producidas durante todo el año.

Para el presente estudio también se tomó en cuenta los registros de la estación de Tolomosa, su ubicación geográfica es 21°37' de Latitud Sur y 64°46' de Longitud Oeste y una altura de 1900 m.s.n.m; de acuerdo a la información tiene registros desde el año 1968 – 1993 en forma discontinua de los cuales para el análisis se tomo en cuenta solo los que tengan registro completo de las lluvias máximas diarias producidas durante todo el año.

Los resúmenes de datos hidrológicos de la estación se muestran en el inciso 3.7.6.2.

**3.7.2.1 TEMPERATURA.**

Los datos de temperatura media mensual con los que se cuenta corresponde a la estación de San Andrés que tiene una altura de 1987.m.s.n.m. y proporciona como resultado una media anual de 17.70°C, las temperaturas medias se muestran en el cuadro 3.7.a

**Cuadro 3.7.a**  
**Temperatura Media Mensual (°C)**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20.0	19.5	19.3	18.0	15.4	14.4	14.4	16.3	17.0	18.9	19.2	19.8

**3.7.2.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.**

La precipitación media anual de la estación estudiada, y que la asumimos como precipitación media en la zona del proyecto es de 1076.8 mm, sus datos mensuales se muestran en el cuadro 3.7.b



**Cuadro 3.7.b**  
**Precipitación Pluvial Media Mensual (mm)**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
204.6	197.8	175.3	43.4	9.0	1.80	2.6	8.0	16.4	84.7	134.2	199.0

### 3.7.2.4 HUMEDAD RELATIVA.

Los datos de la estación del Pajonal correspondientes a la humedad relativa no tienen un registro muy continuo, la media anual de los últimos registros obtenidos es de 65.0%, los datos mensuales medios registrados se encuentran en el Cuadro 3.7.c

**Cuadro 3.7.c**  
**Humedad Relativa Media Mensual (%)**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
72.0	73.0	75.0	72.0	65.0	58.0	54.0	55.0	56.0	64.0	68.0	66.0

### 3.7.2.5 GRANIZADAS.

Es un fenómeno especial que se produce unas pocas veces al año, producto de masas de aire frío y seco provenientes del sur que se encuentran con masas de aire húmedas, provocando gran nubosidad y descenso brusco de temperatura y precipitaciones. Las temperaturas las cuales provocan este fenómeno se encuentran dentro de los siguientes rangos de -5.0 a -6.0 °C, en los meses de julio, agosto y septiembre.

### 3.7.2.6 HELADAS.

En la zona del proyecto se presentan heladas, en los meses fríos del año con frecuencia (junio a agosto). Las temperaturas mínimas extremas registradas en la estación de san Andrés, son de -8.0 °C en durante estos meses. Las variaciones durante los meses restantes es decir septiembre a mayo son de -2 hasta la indicada de -5.0 °C.

## 3.7.3 RECURSOS HÍDRICOS.

### 3.7.3.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

(1) En Bolivia se tienen tres cuencas principales, denominadas del Amazonas, del Plata y Cerrada o del



Altiplano, a pesar que la disponibilidad de agua superficial no ha sido debidamente estudiada, se estima que por la cuenca amazónica fluyen 180 mil millones de  $m^3$ /año; por la cuenca del Plata 22.000 millones de  $m^3$ /año y por la cuenca Cerrada 1.600 millones de  $m^3$ /año.

(2) En el Departamento de Tarija se presentan dos sistemas hidrográficos de características muy distintas, sistema del río Pilcomayo y el sistema del río Bermejo, ambas pertenecientes a la gran cuenca del Río de La Plata. El Proyecto se encuentra en su totalidad en el sistema del río Bermejo, en la sub sistema del río Tarija la que se describe con mayor detalle en los párrafos siguientes.

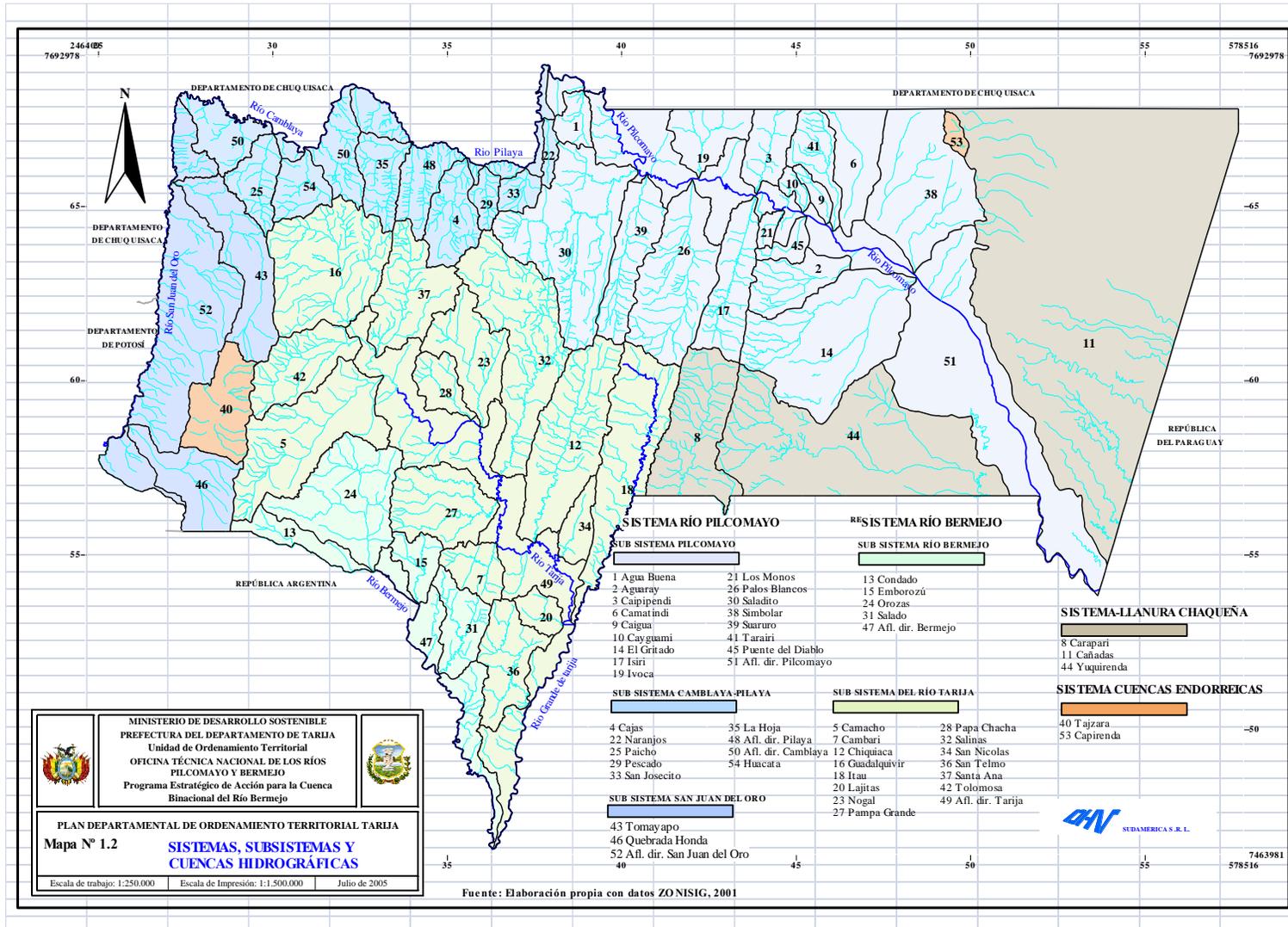
### Descripción de la Sub Cuenca del Río Tarija

(1) El Río Tarija comienza por el Noreste del Departamento de Tarija y se dirige por el Oeste hacia Bermejo a los afluyentes al Río Tarija.

(2) En el área del proyecto, sector que corresponde a la subcuenca del río Tarija, presenta en general un relieve accidentado, por donde los ríos se desplazan en las cabeceras en forma restringida o encajonada (con una sección en forma de "V"), con taludes muy pronunciados y gradientes entre 10 % a 15 %. Los principales ríos que forman esta cuenca son: San Andres, Chorro, y Afl. Dir. Molino; estos ríos forman valles por lo general más amplios ver **FIG.2**.



FIG. 2





### Ríos más Importantes en el Área del Proyecto

Entre los ríos más importantes que existen en la zona se pueden mencionar:

Se origina en las estribaciones del cerro Chismuri con una altitud entre 3500 msnm y 2200 ; escurre cerca de la población de San Pedro de Sola, San Andrés y desemboca en el río El Molino.

### 3.7.4 PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS

Los parámetros geomorfológicos de las diferentes cuencas proporcionan las características de funcionamiento en la evaluación de las aguas que provienen de las lluvias. Los parámetros necesarios que se utilizaron fueron los siguientes:

- Área y Perímetro de la Cuenca
- Índice de Compacidad
- Rectángulo Equivalente
- Índice de Pendiente
- Pendiente de la Cuenca
- Pendiente de Cauce

#### 3.7.4.1 ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA

Las áreas y los perímetros de las cuencas fueron determinadas de una imagen satelital y verificadas con la carta geográfica de la zona a escala de 1:50000, cuyos valores se presentan en el Cuadro 3.7.e. y Fig. 10.

#### 3.7.4.2 ÍNDICE DE COMPACIDAD O INDICE DE GRAVELIUS

(1) Este Índice expresa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia que tiene la misma área de la cuenca y está definida por la siguiente relación.

$$K = 0.28 \frac{P_c}{\sqrt{A_c}} \quad (1)$$

Donde:  $K$  = Índice de la Cuenca  
 $P_c$  = Perímetro de la Cuenca  
 $A_c$  = Área de la Cuenca

(2) Los resultados de los valores encontrados para cada cuenca se presentan en el Cuadro 3.7.e.



### 3.7.4.3. RECTANGULO EQUIVALENTE

(1) El Rectángulo Equivalente es una transformación geométrica que permite representar a la cuenca de su forma heterogénea a la forma de un rectángulo que tiene una misma área y perímetro, como también el mismo índice de compacidad, distribución de alturas y distribución de la cobertura vegetal. En este rectángulo las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curva de nivel.

(2) Los lados del rectángulo equivalente se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{K\sqrt{A_c}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (2)$$

$$I = \frac{K\sqrt{A_c}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (3)$$

Donde:

**L** = Longitud del lado mayor del rectángulo.

**I** = Longitud del lado Menor del Rectángulo.

**K** = Índice de Compacidad.

**A<sub>c</sub>** = Área de la Cuenca.

(3) Mediante las fórmulas (2) y (3) se obtuvieron las longitudes del rectángulo que se presentan tabulados en el Cuadro 3.7.e.

### 3.7.4.4. PENDIENTE DE LA CUENCA

(1) La pendiente de una cuenca, es un parámetro muy importante, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controlan el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas.

(2) En el proyecto se calculó la pendiente de la cuenca a través de la pendiente media del rectángulo equivalente, cuya expresión es la siguiente:

$$S = \frac{H}{L} \quad (4)$$



Donde:

**S** = Pendiente de la Cuenca

**H** = Desnivel total (Cota en la parte más alta – Cota en la Estación de aforo)

**L** = Lado mayor del rectángulo equivalente (Km.)

(3) Los resultados se presentan en el Cuadro 3.7.e.

**Cuadro 3.7.e**  
**PARAMETROS DE FORMA**

No.	Prog. (Km.)	Cuenca No.	Area (Km2)	Cota Máxima (m.s.n.m.)	Cota Mínima (m.s.n.m.)	Longitud del Cauce (Km.)	Perímetro de la Cuenca (Km.)	Índice de Compacidad (Índice de Gravelious)	Rectángulo Equivalente		Pendiente de la Cuenca (%)	Observaciones
									Lado Mayor (Km.)	Lado Menor (Km.)		
1	1+440,00	tramo II	9,65	3413,528	2083,528	6,809	17,09	1,540	7,204	1,340	18,463	Qda Chorro

### 3.7.4.5. PENDIENTE DEL CAUCE

(1) El conocimiento de la pendiente del cauce principal de la cuenca, es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso Hídrico; como por ejemplo, la determinación de las características optimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones.

(2) En general la pendiente de un tramo de un cauce de un río, se puede considerar como el cociente que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo.

(3) Existen varios métodos para obtener la pendiente de un cauce, en el Proyecto se utilizará el Método de Taylor y Schwars.

(4) Este método considera que un río está formado por “n” tramos de diferentes longitudes, cada uno de ellos con una pendiente uniforme.

(5) La ecuación de Taylor y Schwars es la siguiente:

$$S = \left( \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (5)$$



Donde:  $S$  = Pendiente media del cauce.  
 $L_i$  = Longitud del tramo  $i$ .  
 $S_i$  = Pendiente del tramo  $i$ .

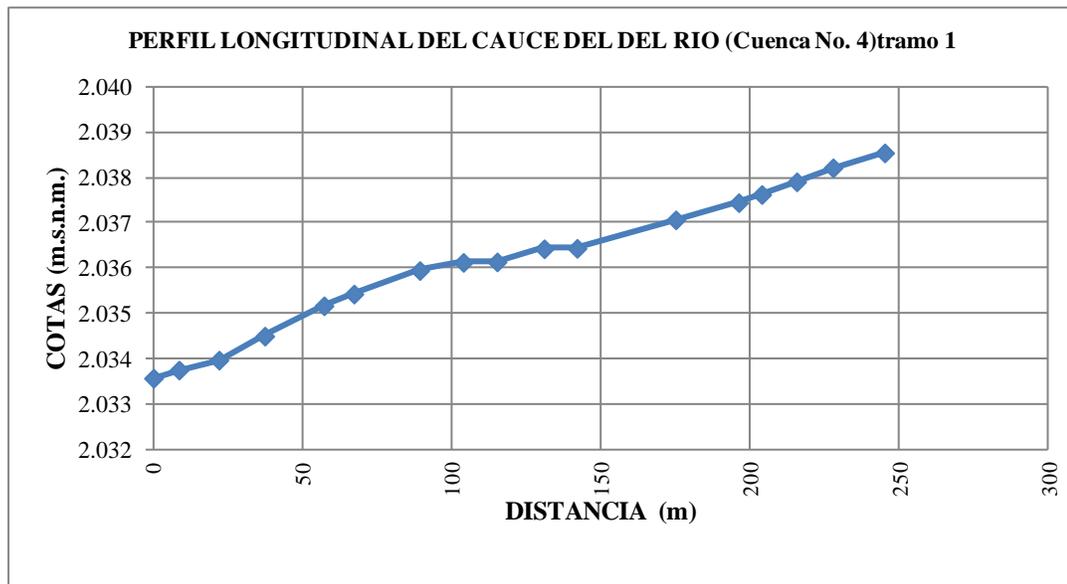
(6) Con la expresión (5) y los parámetros correspondientes se obtuvieron los resultados para cada cuenca, resultados que se presentan en los cuadros 3.7f – **Pendiente de Cauce Principales.**

**Cuadros 3.7f**  
**Pendiente del Cauce del río de la Cuenca N° 4 en Progresiva 1+440**

Cota (m.s.n.m)	Hi	Desnivel Dhi (m)	Longitud del tramo Li (m)	Longitud acumulada (m)	Pendiente Si	(Si) <sup>0,5</sup>	Li/(Si) <sup>0,5</sup>
2.033,57		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.033,75		0,18	8,56	8,56	0,02	0,15	59,03
2.033,97		0,22	13,41	21,97	0,02	0,13	104,70
2.034,50		0,53	15,36	37,33	0,03	0,19	82,69
2.035,17		0,67	19,87	57,20	0,03	0,18	108,21
2.035,43		0,26	10,03	67,23	0,03	0,16	62,30
2.035,95		0,52	22,06	89,29	0,02	0,15	143,68
2.036,13		0,18	14,63	103,92	0,01	0,11	131,90
2.036,14		0,01	11,32	115,24	0,00	0,03	380,86
2.036,43		0,29	15,81	131,05	0,02	0,14	116,73
2.036,44		0,01	11,00	142,05	0,00	0,03	364,83
2.037,07		0,63	33,12	175,17	0,02	0,14	240,14
2.037,45		0,38	21,10	196,27	0,02	0,13	157,23
2.037,63		0,18	7,74	204,01	0,02	0,15	50,75
2.037,91		0,28	11,73	215,74	0,02	0,15	75,92
2.038,22		0,31	12,19	227,93	0,03	0,16	76,44
2.038,55		0,33	17,32	245,25	0,02	0,14	125,48
			245,25				2.280,89

S= 0,0116 (m/m)

FIG. 3



### 3.7.5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DE DRENAJE

La base del estudio se considera la evaluación de las variables hidrológicas que se puede obtener de la zona, a partir del cual se propone el sistema de drenaje, para lo cual se realizaron las siguientes tareas:

- Análisis de la información hidrológica existente.
- Evaluación de las precipitaciones extremas, estimación de caudales de los cursos.

Se realizó el estudio hidrológico de las cuencas y los cursos de agua que cruzan la carretera, partiendo del estudio pluviométrico de las estaciones señaladas.

Para la primera fase del estudio, se consideró necesario el realizar una evaluación pluviométrica de estas estaciones representativas de la zona a partir de las precipitaciones máximas diarias.

De esta manera, se lograron obtener resultados que posteriormente fueron necesarios ponderar los parámetros como la moda ( $E_d$ ) y característica zonal ( $K_d$ ), luego confrontados con los valores de alturas máximas que se pueden obtener de levantamientos de la zona. Los resultados obtenidos de los valores extremos, sirvieron para definir relaciones de intensidad - duración - frecuencia.

Los caudales de crecida obtenidos en el presente estudio se determinaron mediante el método racional; para cada una de las cuencas de aporte, la intensidad de diseño se ha tomado de los datos obtenidos de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno y duración de la estación meteorológica considerada para el proyecto.



### 3.7.6. ANALISIS PLUVIOMÉTRICO

#### 3.7.6.1. PATRONES DE COMPORTAMIENTO REGIONAL DE LA PRECIPITACIÓN.

El proyecto se encuentra al sur de Bolivia en la región sureste del territorio tarijeño, en la provincia Cercado, donde se tiene un clima tropical húmedo.

Las precipitaciones se manifiestan fundamentalmente durante el verano, generando meses húmedos desde octubre a marzo, en el mes de máxima precipitación (enero) , esto producto de la influencia del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que se introduce notablemente en el territorio boliviano, llegando a 17° y 18° de la latitud sur en la parte central del territorio. La interacción de las zonas de baja presión que irrumpen al sur con las zonas de alta presión ubicadas en territorio argentino y océano Atlántico, origina movimientos atmosféricos que actúan sobre la zona cordillerana y de valles.

El desplazamiento de la ZCIT permite la formación de frentes y de procesos de convección. Los frentes fríos provenientes del sur actúan con masas de aire caliente, originando tormentas de tipo frontal.

En invierno la zona tiene una época seca con una menor cantidad de humedad, la precipitación media mínima mensual se presenta en el mes de julio.

#### 3.7.6.2. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Se eligió aquellas estaciones pluviométricas próximas a las cuencas de aporte que inciden sobre el proyecto vial, y que es representativa de las cuencas de aporte de los cursos más importantes que cruzan la carretera.

**Cuadro 3.7.g**  
**ESTACIONES CLIMATOLÓGIAS**

Nº	Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)
1	San Andrés	21°37'24"	64°48'54"	1987

La ubicación de la estación dentro del Departamento de Tarija, provincia Cercado cercana a la ciudad de Tarija, se muestra en la Figura N° 4.

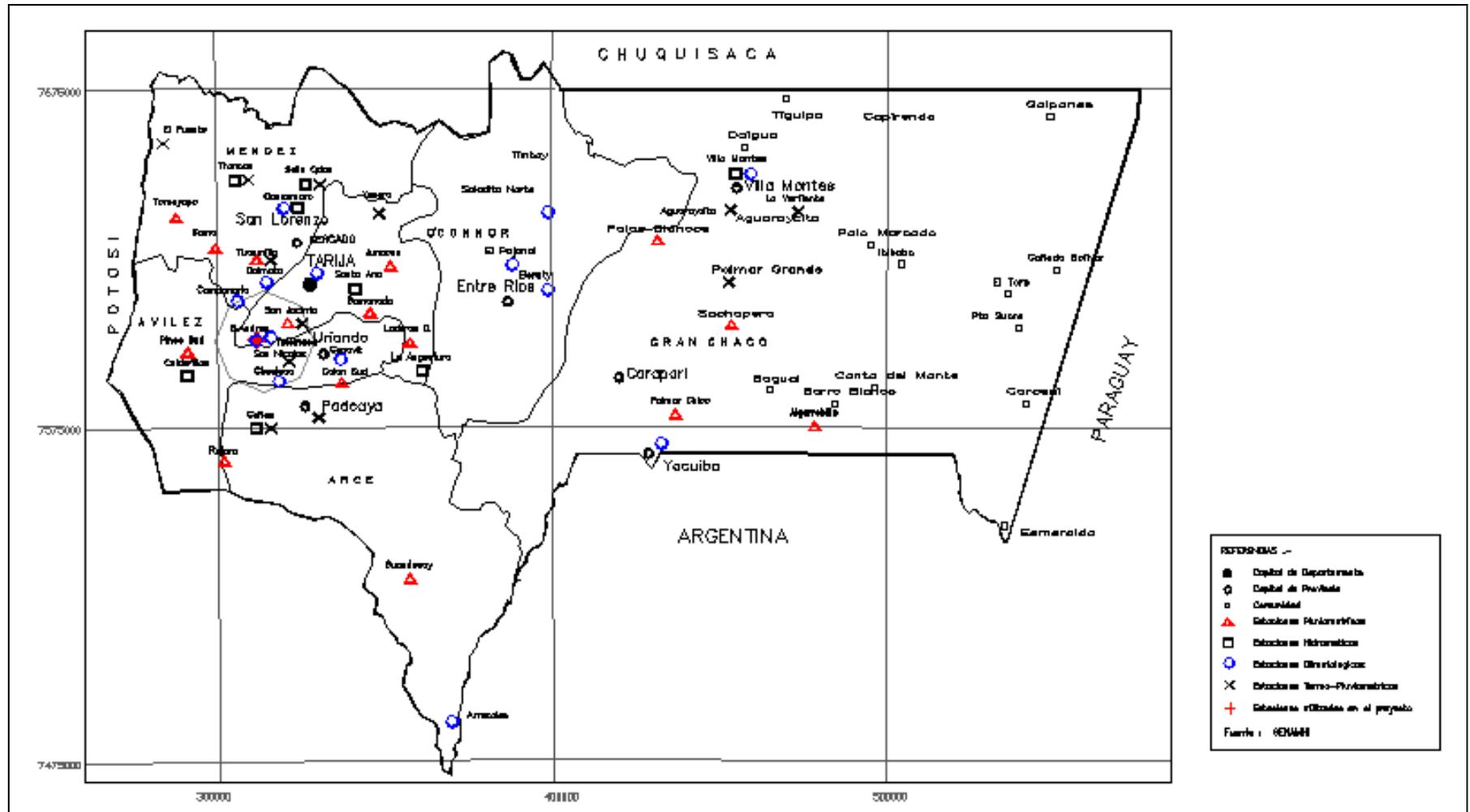


FIG. 4



Las estaciones consideradas para el estudio y sus longitudes de registros de las precipitaciones máximas diarias son;

Cuadro 3.7.h

SAN ANDRES (CERCADO)													
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													
PROVINCIA =	CERCADO												
DPTO =	Tarija												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁX.
1975							0,0	1,0	15,0	19,5	20,0	21,0	
1976	18,5	20,0	25,0	20,0	8,5	0,2	0,5	0,0	5,0	8,0	24,5	25,5	25,5
1977	32,5	38,0	45,0	43,0	12,0	0,0	0,0	25,0	16,0	19,0	28,0	41,0	45,0
1978	43,5	54,5	25,0	22,5	10,0	0,0	0,0	0,0	18,5	18,5	29,0	31,5	54,5
1979	60,2	54,5	49,8	14,0	8,0	2,0	10,6	8,4	2,7	11,7	48,7	106,5	106,5
1980	50,7	108,5	57,2	11,7	6,6	0,7	0,2	8,0	0,0	62,1	47,4	20,0	108,5
1981	50,7	49,5	48,3	29,4	0,0	0,0	0,7	3,7	6,5	21,0	81,0	71,0	81,0
1982	48,8	28,5	30,4	21,2	8,7	0,0	0,0	1,0	12,7	9,7	50,7	45,9	50,7
1983	27,9	16,6	19,1	5,2	6,2	1,5	2,6	3,5	4,9	40,0	24,5	29,0	40,0
1984	60,0	67,3	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	38,0	18,0	82,5	82,5
1985	70,1	60,7	49,9	30,0	0,0	0,0	4,4	20,2	11,2	12,4	60,7	44,0	70,1
1986	30,7	43,4	40,1	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	30,0	37,0	50,1	50,1
1987	40,5	50,7	20,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	28,0	37,4	30,1	50,7
1988	70,2	19,2	40,5	20,0	5,1	0,0	8,5	0,4	5,0	30,3	20,2	40,1	70,2
1989	36,2	49,0	59,0	35,2	0,2	11,5	2,1	0,0	4,5	65,3	70,6	50,2	70,6
1990	65,2	40,1	35,0	7,7	4,1	0,0	1,4	6,2	6,8	40,1	50,1	40,0	65,2
1991	47,4	65,4	50,8	27,1	3,9	0,0	0,0	14,5	4,3	32,0	24,2	67,0	67,0
1992	38,1	40,1	33,9	10,2	0,0	0,0	2,2	2,1	5,0	8,3	41,2	60,8	60,8
1993	50,2	18,1	78,0	14,1	14,0	1,6	3,1	4,6	0,0	35,5	58,5	44,2	78,0
1994	88,0	29,5	20,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	23,0	43,3	33,0	37,0	88,0
1995	33,0	22,5	83,3	1,0	3,0	0,0	0,0	7,0	17,0	36,5	39,0	34,0	83,3
1996	39,5	35,3	98,0	17,5	19,5	0,0	0,0	5,0	11,9	4,3	50,2	34,0	98,0
1997	14,6	30,0	50,5	16,0	3,2	0,0	0,0	1,8	8,3	8,3	38,0	43,5	50,5
1998	30,7	20,2	44,9	17,5	8,1	10,5	2,0	7,0	3,5	29,5	36,0	51,2	51,2
1999	37,0	48,2	61,8	12,6	7,0	3,0	2,5	3,8	21,0	35,0	25,0	40,7	61,8
2000	70,9	50,2	23,5	12,4	1,7	0,0	0,0	2,5	2,5	6,0	22,0	86,5	86,5
2001	87,7	27,7	28,0	14,3	4,7	4,2	1,4	6,2	5,5	37,0	40,3	67,5	87,7
2002	35,2	63,0	70,9	14,5	6,2	0,0	1,5	1,0	5,0	150,3	38,6	40,0	150,3
2003	44,2	30,7	52,0	14,1	2,7	3,5	0,0	0,0	1,0	30,6	30,0	40,2	52,0
2004	41,2	28,5	33,0	29,0	11,6	2,2	2,6	4,4	30,4	11,4	34,8	47,3	47,3
2005	50,8	40,9	46,0	26,1	0,3	0,0	2,5	2,9	4,0	16,5	62,0	34,0	62,0
2006	57,0	47,0	33,0	11,0	9,5	0,0	0,5	1,0	1,0	11,2	31,0	50,0	57,0
2007	60,0	36,0	72,0	15,5	5,5	0,0	0,0	2,0	12,0	24,5	35,0	54,0	72,0
2008	34,0	46,0	44,0	16,0	0,0	0,0	0,0	2,5	4,0	29,0	50,0	67,0	67,0
2009	38,0	39,0	69,7	30,9	4,5	0,0	0,0	0,0	15,0	4,5	45,0	70,0	70,0
2010	30,4	81,0	34,0	10,0	9,5	2,0	0,0	1,0	1,4	8,7	5,5	64,0	81,0
2011	49,0	45,0	40,0	16,7	4,0	7,5	0,0	0,0	32,7	19,0	21,5	64,5	64,5
2012	70,5	47,5	43,5	47,1	1,5	2,0	2,0	3,2	4,5	43,1	25,5	36,2	70,5
2013	65,5	24,0	11,0	9,4	2,8	0,0	0,0	2,7	1,5	8,0	17,5	0,0	65,5
<b>MAX</b>	<b>88,0</b>	<b>108,5</b>	<b>98,0</b>	<b>47,1</b>	<b>19,5</b>	<b>11,5</b>	<b>10,6</b>	<b>25,0</b>	<b>32,7</b>	<b>150,3</b>	<b>81,0</b>	<b>106,5</b>	<b>150,3</b>



**Cuadro 3.7.i**

ANALISIS DE CRECIDAS		
SAN ANDRES (CERCADO)		
Nº	Año	Máx. Diaria (mm)
1	1976	25,5
2	1977	45,0
3	1978	54,5
4	1979	106,5
5	1980	108,5
6	1981	81,0
7	1982	50,7
8	1983	40,0
9	1984	82,5
10	1985	70,1
11	1986	50,1
12	1987	50,7
13	1988	70,2
14	1989	70,6
15	1990	65,2
16	1991	67,0
17	1992	60,8
18	1993	78,0
19	1994	88,0
20	1995	83,3
21	1996	98,0
22	1997	50,5
23	1998	51,2
24	1999	61,8
25	2000	86,5
26	2001	87,7
27	2002	150,3
28	2003	52,0
29	2004	47,3
30	2005	62,0
31	2006	57,0
32	2007	72,0
33	2008	67,0
34	2009	70,0
35	2010	81,0
36	2011	64,5
37	2012	70,5
38	2013	65,5
	MAX=	150,3
	MIN=	25,50
	Xprom=	69,55
	Des.Est. S=	22,38
	Ed=Moda=Xprom-0,456*S=	59,35
	Kd=Característica=S/(0,557*Ed)=	0,68

**Test de Consistencia de Datos de Kolmogorov- Smirnova.**

A fines de verificación de la confiabilidad de estos registros, fue aplicado el test de consistencia de Kolmogorov – Smirnov, el mismo que se basa en la diferencia máxima de frecuencias acumuladas y la desviación aceptable de Kolmogorov. El test fue aplicado en registros de las diferentes estaciones para las series analizadas máximas en 24 horas, verificando que las series empleadas en el análisis estadístico de estudio pertenecen al mismo universo muestral.

Se aplicó el test de bondad mencionado para determinar si es posible trabajar con cada serie para obtener finalmente un solo parámetro característico (Kd) de la zona del proyecto.

**Parámetro Característico.** Este parámetro fue calculado para las diferentes estaciones analizadas para las series de valores máximos en 24 horas.

Este parámetro caracteriza a una zona de igual clima, es decir que debe ser único y constante para el área de influencia hidrológica de la estación. Según la teoría probabilística este parámetro varía generalmente entre 0,5 y 1,5. Si el valor de kd es mayor que 1.5, es necesario reprocesar la serie depurando los datos que causan el incremento de kd.

$$Kd = \frac{S}{0.557 * Ed}$$

Los valores obtenidos son los siguientes:

$$Kd = 0.68 \quad \text{San Andrés}$$

**Depuración de Datos**

Al obtener los valores del parámetro característico dentro del rango aceptable (0.5 y 1.5), no fue necesario depurar los datos que fueron tomados en cuenta dentro del proceso estadístico.

**Obtención de la Media.-** La media de cada una de las series de máximos fue calculada con la siguiente expresión:

$$\bar{X}_{prom} = \frac{\sum_i^n ht_i}{n}$$

**Cálculo de la Moda.-** También conocido como valor modal:

$$Ed = \bar{X}_{prom} - 0.456 * S$$



**Obtención de Desviación Standard (D.S.).-** Asimismo para cada serie fue estimada, la desviación standard, para  $n + 1$  datos:

$$S\{ht\} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (h_i - \bar{ht})^2}{n-1}}$$

### **Distribución de Frecuencia Acumulada de Gumbel**

El análisis de frecuencias acumuladas, con la Ley de Gumbel (Ley de máximos y mínimos) fue realizado para verificar la hipótesis de que la mencionada distribución, es la que mejor se ajusta a las series analizadas:



**Cuadro No 3.7.j**  
**ESTADIGRAFOS Y PARAMETROS DE GUMBEL DE LAS PRECIPITACIONES**  
**ESTACION: SAN ANDRES (CERCADO)**

AÑO	X ( mm.)	(X - Xm )	(X - Xm )^2
1976	25,50	-44,05	1940,63
1977	45,00	-24,55	602,83
1978	54,50	-15,05	226,58
1979	106,50	36,95	1365,11
1980	108,50	38,95	1516,90
1981	81,00	11,45	131,04
1982	50,70	-18,85	355,42
1983	40,00	-29,55	873,36
1984	82,50	12,95	167,63
1985	70,10	0,55	0,30
1986	50,10	-19,45	378,40
1987	50,70	-18,85	355,42
1988	70,20	0,65	0,42
1989	70,60	1,05	1,10
1990	65,20	-4,35	18,95
1991	67,00	-2,55	6,52
1992	60,80	-8,75	76,61
1993	78,00	8,45	71,36
1994	88,00	18,45	340,31
1995	83,30	13,75	188,99
1996	98,00	28,45	809,25
1997	50,50	-19,05	363,00
1998	51,20	-18,35	336,82
1999	61,80	-7,75	60,10
2000	86,50	16,95	287,21
2001	87,70	18,15	329,33
2002	150,30	80,75	6520,14
2003	52,00	-17,55	308,09
2004	47,30	-22,25	495,18
2005	62,00	-7,55	57,04
2006	57,00	-12,55	157,57
2007	72,00	2,45	5,99
2008	67,00	-2,55	6,52
2009	70,00	0,45	0,20
2010	81,00	11,45	131,04
2011	64,50	-5,05	25,53
2012	70,50	0,95	0,90
2013	65,50	-4,05	16,42
<b>S =</b>	2.643,00	<b>S =</b>	18.528,21
<b>n =</b>	38	<b>a =</b>	17,45
<b>Xm =</b>	69,55	<b>m =</b>	59,48
<b>s =</b>	22,38		

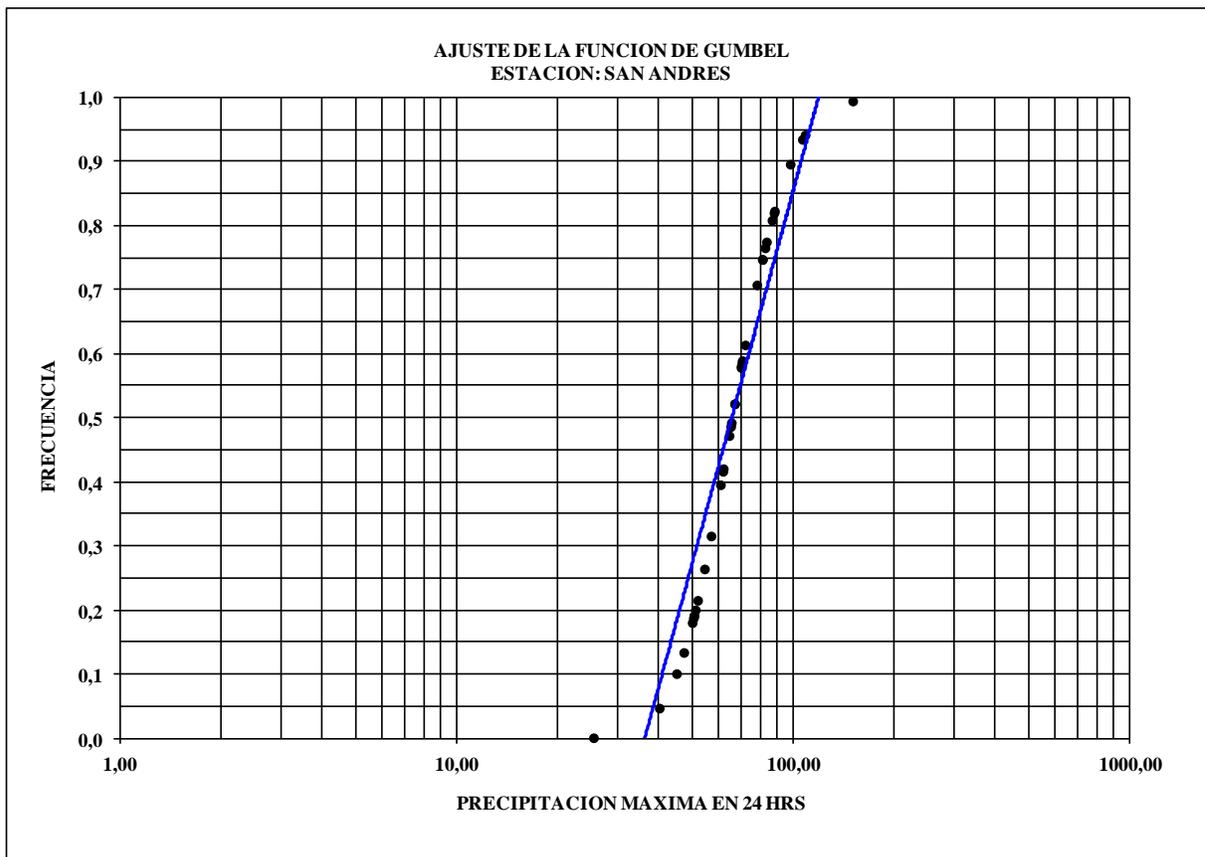


Cuadro No 3.7.k

**MODELO PROBABILISTICO DE GUMBEL  
ESTACION: SAN ANDRES (CERCADO)**

AÑO	RECIPITACION ( mm.)	RECIP. EN ORD ( mm.)	m	P(x)	F(x)	F(X)-P(x)
1976	25,50	150,30	38	0,974	0,995	0,020
1977	45,00	108,50	37	0,949	0,942	0,007
1978	54,50	106,50	36	0,923	0,935	0,012
1979	106,50	98,00	35	0,897	0,896	0,002
1980	108,50	88,00	34	0,872	0,823	0,049
1981	81,00	87,70	33	0,846	0,820	0,026
1982	50,70	86,50	32	0,821	0,809	0,012
1983	40,00	83,30	31	0,795	0,775	0,020
1984	82,50	82,50	30	0,769	0,765	0,004
1985	70,10	81,00	29	0,744	0,747	0,004
1986	50,10	81,00	28	0,718	0,747	0,029
1987	50,70	78,00	27	0,692	0,708	0,015
1988	70,20	72,00	26	0,667	0,614	0,053
1989	70,60	70,60	25	0,641	0,589	0,052
1990	65,20	70,50	24	0,615	0,588	0,028
1991	67,00	70,20	23	0,590	0,582	0,008
1992	60,80	70,10	22	0,564	0,580	0,016
1993	78,00	70,00	21	0,538	0,579	0,040
1994	88,00	67,00	20	0,513	0,522	0,009
1995	83,30	67,00	19	0,487	0,522	0,035
1996	98,00	65,50	18	0,462	0,492	0,031
1997	50,50	65,20	17	0,436	0,486	0,051
1998	51,20	64,50	16	0,410	0,472	0,062
1999	61,80	62,00	15	0,385	0,421	0,036
2000	86,50	61,80	14	0,359	0,417	0,058
2001	87,70	60,80	13	0,333	0,396	0,062
2002	150,30	57,00	12	0,308	0,316	0,008
2003	52,00	54,50	11	0,282	0,264	0,018
2004	47,30	52,00	10	0,256	0,215	0,041
2005	62,00	51,20	9	0,231	0,200	0,030
2006	57,00	50,70	8	0,205	0,191	0,014
2007	72,00	50,70	7	0,179	0,191	0,012
2008	67,00	50,50	6	0,154	0,188	0,034
2009	70,00	50,10	5	0,128	0,180	0,052
2010	81,00	47,30	4	0,103	0,134	0,031
2011	64,50	45,00	3	0,077	0,101	0,024
2012	70,50	40,00	2	0,051	0,047	0,004
2013	65,50	25,50	1	0,026	0,001	0,025

FIG. 5



$$\Delta = \max |F(X) - P(X)|$$

- Donde:  $\Delta$  : Estadístico de Smirov – Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.
- $F(x)$  : Probabilidad de la distribución teórica.
- $P(x)$  : Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

Comparando el valor estadístico  $\Delta$ , con el valor crítico  $\Delta_0$  del Cuadro 3.7.1.:  
Si  $\Delta < \Delta_0$ , entonces el ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.



**Cuadro 3.7.I.**  
**Valores Críticos de  $\Delta_0$  del estadístico Dmirnov – Kolmogorov  $\Delta$ , para**  
**Varios valores de N y niveles de significancia  $\alpha$**

TAMAÑO MUESTRA N	Nivel de Significancia				
	20%	15%	10%	5%	1%
1	0,90	0,93	0,95	0,98	0,99
2	0,68	0,73	0,78	0,84	0,93
3	0,57	0,60	0,64	0,71	0,83
4	0,49	0,53	0,56	0,62	0,73
5	0,45	0,47	0,51	0,56	0,67
6	0,41	0,44	0,47	0,52	0,62
7	0,38	0,41	0,44	0,49	0,58
8	0,36	0,38	0,41	0,46	0,54
9	0,34	0,36	0,39	0,43	0,51
10	0,32	0,34	0,37	0,41	0,49
11	0,31	0,33	0,35	0,39	0,47
12	0,30	0,31	0,34	0,38	0,45
13	0,28	0,30	0,33	0,36	0,43
14	0,27	0,29	0,31	0,35	0,42
15	0,27	0,28	0,30	0,34	0,40
16	0,26	0,27	0,30	0,33	0,39
17	0,25	0,27	0,29	0,32	0,38
18	0,24	0,26	0,28	0,31	0,37
19	0,24	0,25	0,27	0,30	0,36
20	0,23	0,25	0,26	0,29	0,35
22	0,23	0,24	0,26	0,29	0,35
25	0,21	0,22	0,24	0,26	0,32
30	0,19	0,20	0,22	0,24	0,29
33	0,19	0,20	0,21	0,24	0,28
38	0,17	0,18	0,20	0,2206	0,264
40	0,17	0,18	0,19	0,21	0,25
41	0,17	0,18	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,17	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,16	0,17	0,19	0,23
n>50	1.071 $\sqrt{n}$	1.141 $\sqrt{n}$	1.221 $\sqrt{n}$	1.361 $\sqrt{n}$	1.631 $\sqrt{n}$

$$\Delta_0 = 0.062$$

$$\text{Estac. San Andrés } \Delta = 0.221 < \Delta_0 = 0.062$$



Por lo tanto el Modelo de Gumbel se ajusta al evento de las precipitaciones de la estación de San Andrés con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%.

**Calculo de la Frecuencia de Ocurrencia del evento.** Conocido también como probabilidad empírica. Fueron calculadas las probabilidades de no excedencia  $P_{ne}$  (Probabilidad de no excedencia) y de excedencia  $P_e$  (Probabilidad de Excedencia).

$$P_{ne} = \frac{m}{n+1}$$

$$P_e = 1 - P_{ne}$$

Donde:

$m$  = Orden del registro procesado.

$n$  = Número+ de datos de la serie.

**Cálculo del Tiempo de Retorno.** Definido como la inversa de la probabilidad de excedencia de un evento.

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

### 3.7.6.3. ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN

Para el cálculo de la intensidad, se debe efectuar un análisis de frecuencia de precipitación con la finalidad de establecer las curvas de intensidad-duración-frecuencia, y sus correspondientes ecuaciones para diferentes periodos de retorno.

Período de retorno  $T$  (años) es el tiempo que transcurre en el cual una cierta variable hidrológica es alcanzada o excedida al menos una vez con una probabilidad ( $P = 1/T$ ). Su estimación tiene que ver con la determinación del riesgo hidrológico con el que se diseña una cierta obra. Posteriormente se define el período de retorno más aconsejable para este tipo de obras.

El tiempo de concentración ( $t$ ), es el tiempo que tarda el agua o una determinada gota de agua en llegar desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de control hidrológico, su determinación se los efectuará posteriormente.

Para efectuar el análisis de frecuencia de precipitaciones, empleamos los datos de la Estación San Andrés.

#### **Precipitaciones de Diseño.**

L.L.Weiss en base a un estudio de miles de estaciones -año de datos de lluvia encontró que los resultados de un análisis probalístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en



único y fijo intervalo de observación para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas al ser incrementadas en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias verdaderas.

Entonces de acuerdo a esto y considerando 01 lectura/día el factor que corresponde es 1.13, obteniendo finalmente la Máxima Precipitación Diaria según periodo de retorno corregido.

Con los datos de precipitación máxima para 24 horas, y definida la función de distribución, en base a ésta calculamos los valores de las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno. En tal sentido, el Cuadro 3.7.m se presentan las precipitaciones de diseño para los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

**Cuadro 3.7.m**  
**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA METODO DE GUMBEL**

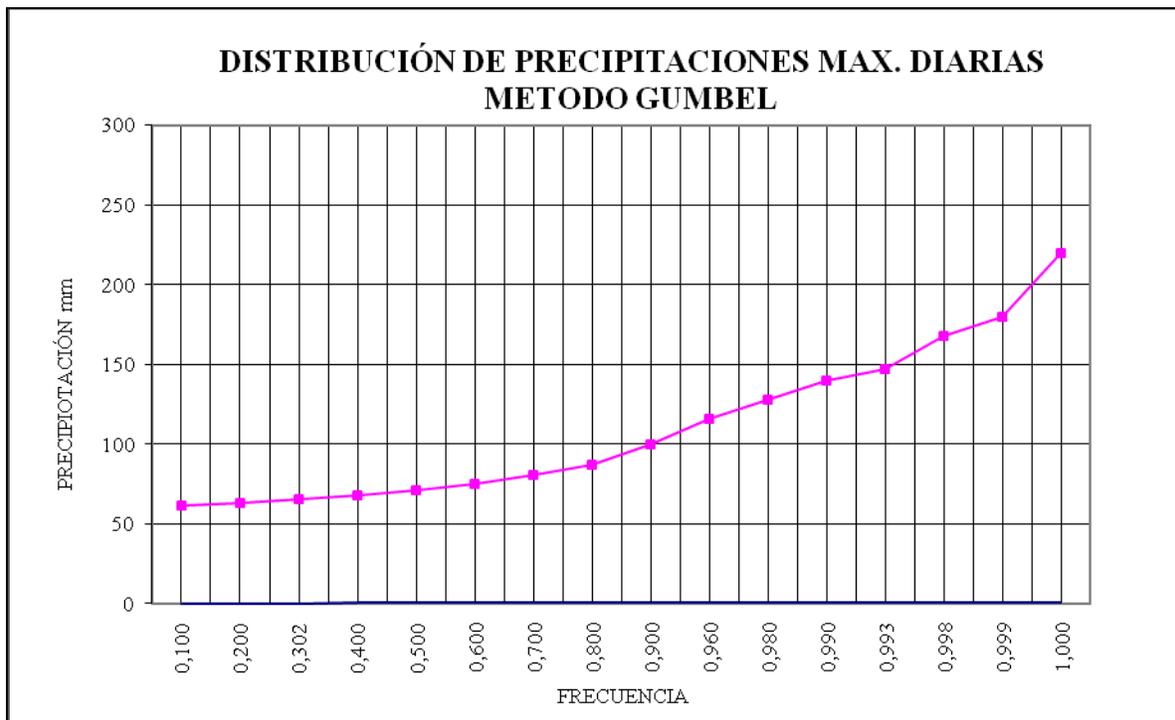
Periodo de Retorno T (Años)	Probabilidad (1/T)	Frecuencia	Precipitación máxima diaria ht (mm)	Corrección por Intervalo Fijo (Weiss)
1,11	0,90	0,100	61,187	69,141
1,25	0,80	0,200	63,242	71,463
1,43	0,70	0,302	65,630	74,162
1,67	0,60	0,400	68,261	77,135
2,00	0,50	0,500	71,442	80,730
2,50	0,40	0,600	75,336	85,129
3,33	0,30	0,700	80,355	90,801
5	0,20	0,800	87,430	98,796
10	0,10	0,900	99,524	112,462
25	0,04	0,960	115,511	130,528
50	0,02	0,980	127,605	144,194
100	0,01	0,990	139,699	157,860
150	0,007	0,993	146,774	165,854

$$\text{Gumbel} \quad ht = E_d * (1 + K_d * \text{Log } T)$$

$$\text{Moda} = 59.35$$

$$\text{Característica} = 0.68$$

FIG.6



### 3.7.7 INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA.-

Con los datos de precipitaciones máximas diarias, obtenidos de la Estación San Andrés (Cercado) se realizara la determinación de las curvas de intensidad-duración y frecuencia.

Usando la distribución de máximo valores según Ley de Gumbel, se obtiene las precipitaciones correspondientes a tiempos inferiores a 24 hrs. Utilizando la ecuación que relaciona la moda de los valores máximos diarios, con la moda correspondiente a otros valores.

$$h_{Tt} = ht * ( t / t_d )^b$$

Donde:

$h_{Tt}$ =	Valor modal para un tiempo t en horas
ht =	Lluvia máxima diaria
t =	Tiempo en horas
$t_d$ =	Tiempo correspondiente a la lluvia diaria
b =	Exponente que varía de 0.20 a 0.30

Obteniéndose los siguientes resultados.

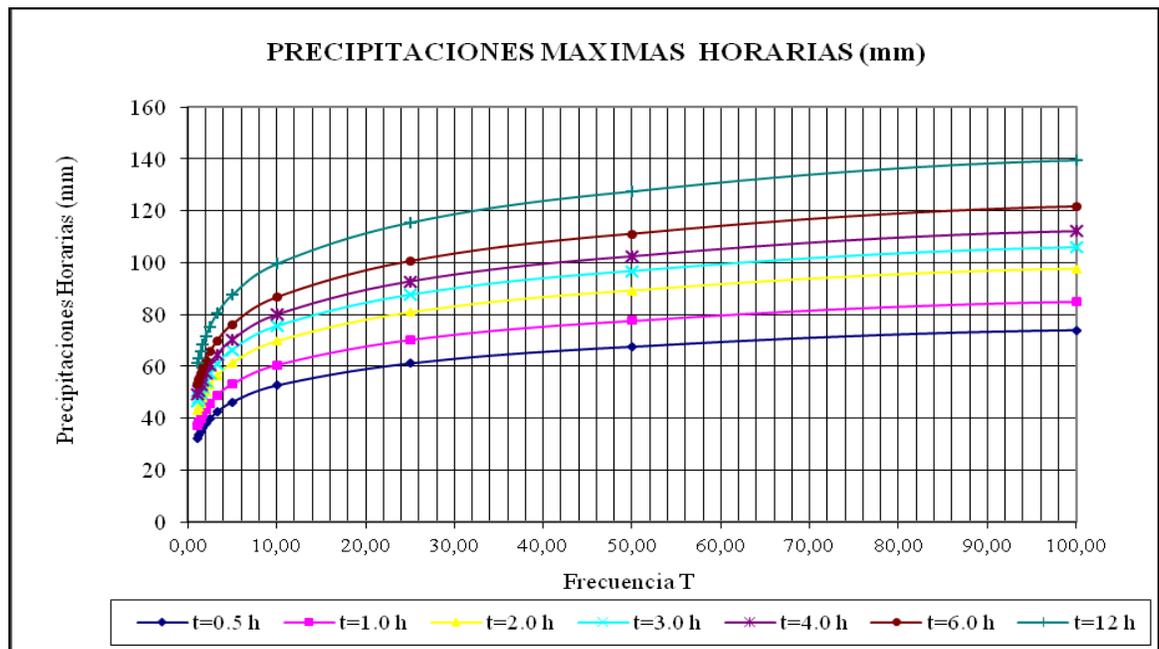


Cuadro 3.7.n

LLUVIAS MÁXIMAS HORARIAS ( mm ) CORRESPONDIENTES A DIFERENTES TIEMPOS ( t )

T	t=0.5h	t=1h	t=2h	t=3h	t=4h	t=6h	t=12h
1,11	32,41	37,22	42,76	46,37	49,12	53,27	61,19
1,25	33,49	38,47	44,20	47,93	50,77	55,06	63,24
1,43	34,76	39,93	45,86	49,74	52,68	57,13	65,63
1,67	36,15	41,53	47,70	51,73	54,80	59,42	68,26
2,00	37,84	43,46	49,93	54,14	57,35	62,19	71,44
2,50	39,90	45,83	52,65	57,09	60,48	65,58	75,34
3,33	42,56	48,89	56,15	60,90	64,50	69,95	80,36
5	46,30	53,19	61,10	66,26	70,18	76,11	87,43
10	52,71	60,55	69,55	75,42	79,89	86,64	99,52
25	61,18	70,27	80,72	87,54	92,73	100,56	115,51
50	67,58	77,63	89,17	96,71	102,43	111,09	127,61
100	73,99	84,99	97,63	105,87	112,14	121,62	139,70

FIG.7





### 3.7.8 CALCULO DE LA INTENSIDA DE PRECIPITACIÓN

Para calcular la intensidad de precipitación, con los valores de la anterior tabla empleamos la ecuación:

$$i = \frac{h}{t} \left[ \frac{mm}{hora} \right]$$

Donde:

- $i$  = Intensidad de precipitación en, (mm/hora)  
 $h$  = Altura de precipitación en, (mm)  
 $t$  = Tiempo de duración en, (horas)

Aplicando la ecuación se tiene:

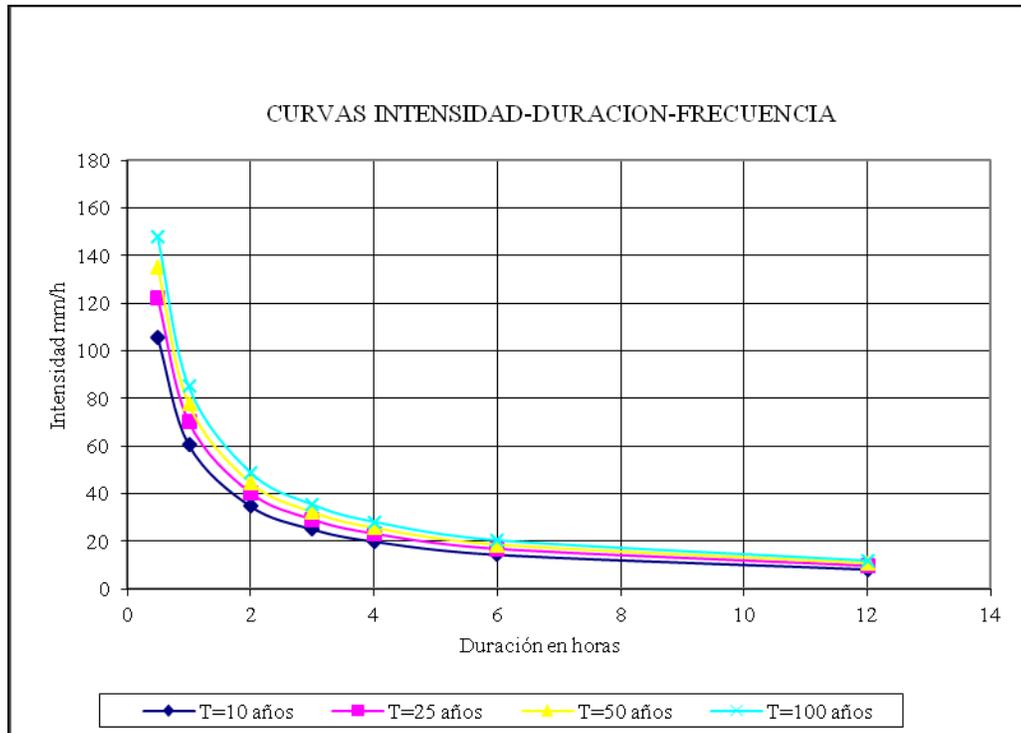
**Cuadro 3.7.o**

**INTENSIDADES MAXIMAS CORRESPONDIENTES A DIFERENTES TIEMPOS ( t ) Y PERIODOS DE RETORNO ( T ) EN AÑOS  
INTENSIDADES MÁXIMAS ( mm/hr ) CORRESPONDIENTES A DIFERENTES TIEMPOS ( t )**

T	t=0.5h	t=1h	t=2h	t=3h	t=4h	t=6h	t=12h
<b>1,11</b>	64,81	37,22	21,38	15,46	12,28	8,88	5,10
<b>1,25</b>	66,99	38,47	22,10	15,98	12,69	9,18	5,27
<b>1,43</b>	69,52	39,93	22,93	16,58	13,17	9,52	5,47
<b>1,67</b>	72,30	41,53	23,85	17,24	13,70	9,90	5,69
<b>2,00</b>	75,67	43,46	24,96	18,05	14,34	10,37	5,95
<b>2,50</b>	79,80	45,83	26,32	19,03	15,12	10,93	6,28
<b>3,33</b>	85,11	48,89	28,08	20,30	16,13	11,66	6,70
<b>5</b>	92,61	53,19	30,55	22,09	17,55	12,69	7,29
<b>10</b>	105,42	60,55	34,77	25,14	19,97	14,44	8,29
<b>25</b>	122,35	70,27	40,36	29,18	23,18	16,76	9,63
<b>50</b>	135,16	77,63	44,59	32,24	25,61	18,51	10,63
<b>100</b>	147,97	84,99	48,81	35,29	28,04	20,27	11,64

Con estos valores se puede obtener un gráfico de la INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA:

FIG.8



### 3.7.9 ESTUDIO DE TIEMPO DE RETORNO A UTILIZAR.

Se usan los siguientes tiempos de retorno para las estructuras hidráulicas de la ruta: Según el Manual de Hidrología y Drenaje de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras):

TABLA 1.2-2 PERÍODOS DE RETORNO PARA DISEÑO

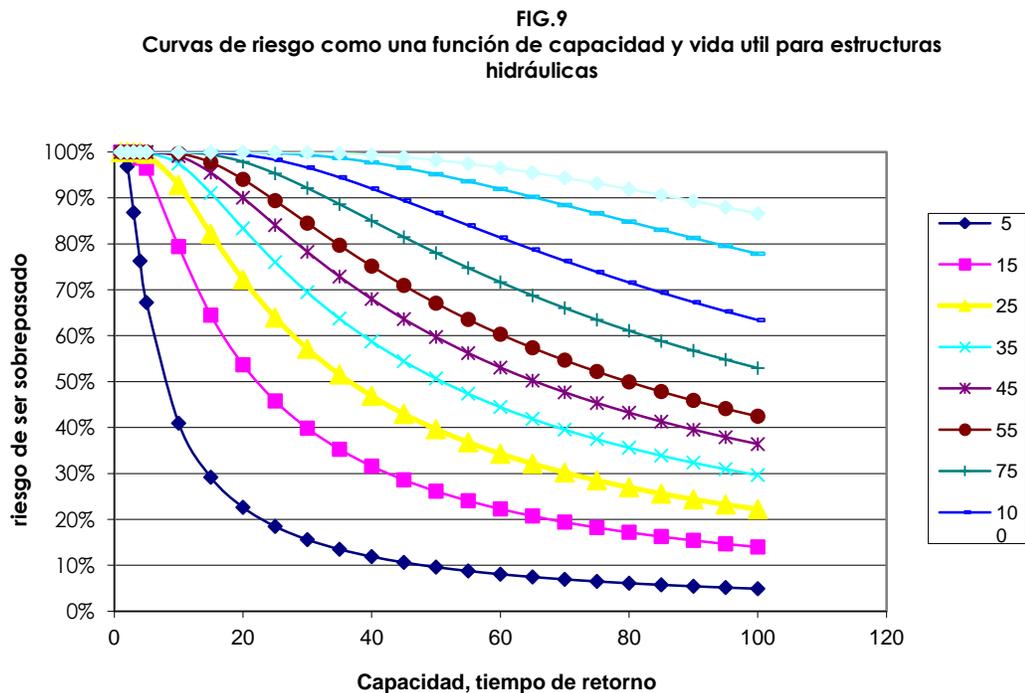
Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T años)		Vida útil Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño (3)	Verificación (4)		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos (1)	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ( $S > 1,75 \text{ m}^2$ ) o $H_{entrap} \geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas (2)	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ( $S < 1,75 \text{ m}^2$ )	Carretera	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carretera	100	-	20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-



La tabla 1.2-2 del Manual de Hidrología y Drenaje de la ABC, indica también el riesgo de falla de las distintas obras suponiendo una vida útil como la indicada, supuesto que es bastante representativo de las condiciones usuales. Es importante recalcar que un valor de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, tiene en promedio una probabilidad de ser igualado o superado igual a 0.02 en un año cualquiera, sin embargo, la probabilidad que sea igualado o sobrepasado en un periodo de 10 años sube a 0.18: en un periodo de 25 años sube a 0.38 y en un periodo de 50 años sube a 0.64. Es decir, se requiere usar en el diseño un periodo de retorno alto, para contar con una seguridad de funcionamiento razonable de la obra durante su vida útil.

En términos estadísticos, una estructura hidráulica dimensionada para pasar la tormenta de retorno de T años sin inundarse, tiene una probabilidad de ser sobrepasada de  $1/T$  en cualquier año. Es decir, que la probabilidad de que la estructura no será sobrepasada en cualquier año es  $1 - 1/T$ , y que la probabilidad de que la estructura no será sobrepasada en  $n$  años es  $(1 - 1/T)^n$ .

Es común describir el *riesgo* de sobrepasar la capacidad de una estructura durante su vida útil, como  $1 - (1 - 1/T)^n$ , suponiendo que no hay ninguna diferencia en su comportamiento hidráulico en cada año de su vida. Utilizando esta ecuación, en la Figura 9 se presentan las curvas de riesgo para estructuras con diferentes vidas útiles.



De esta figura se puede obtener el riesgo asociado con cada uno de los tipos de estructuras, según se resume en el Cuadro N° 3.7.p

**Cuadro 3.7.p****Riesgos asociados con cada uno de las clases de estructuras hidráulicas**

<b>Clase de estructura</b>	<b>Capacidad/Tiempo de retorno, en años</b>	<b>Riesgo de estar sobrepasado durante su vida útil</b>
Drenaje de plataforma	5	0.9962
Alcantarilla menor	10	0.9282
Alcantarilla mayor	25	0.6396
Puentes	100	0,2222

Se pueden hacer los siguientes comentarios sobre el cuadro anterior:

- Es muy probable que las obras de drenaje de la plataforma sean inundadas durante la vida útil de la carretera (riesgo de 99.6%), por lo cual debería construirse un buen revestimiento de la superficie de la carretera.
- Es muy posible que las alcantarillas menores serán sobrepasadas durante la vida útil de la carretera (riesgo de 92.8%), por lo cual se debería tomar en cuenta las fuerzas que actúan sobre el terraplén cuando se comporta como vertedero.
- Es probable que las alcantarillas mayores sean sobrepasadas durante la vida útil de la carretera (riesgo de 64%), por lo cual se debe tener una revancha mínima de un metro entre la corona de la alcantarilla y la rasante de la carretera.
- Existe una posibilidad no descartable de que los puentes serán sobrepasados al menos una vez durante la vida útil de la carretera (riesgo de 22.2%), por lo cual, se deberían tomar en cuenta las fuerzas que experimentaría el puente funcionando como vertedero y adoptar una revancha mínima de un metro entre el nivel máximo de agua para la tormenta del diseño y la parte inferior de la viga del puente para permitir el paso de material de arrastre.

"Los recursos hídricos varían en espacio y tiempo y su naturaleza en sí es incierta" y además, cada día se siente en cada nación los efectos del denominado "cambio climático" (ya sea enfriamiento o calentamiento). En América del Sur se desconoce cualquier intento de interpretar el balance hídrico u optimizar una red hidrométrica bajo un escenario de cambio climático y con enfoque estocástico.

Para optimizar el riesgo de estar sobrepasado durante su vida útil de las obras hidráulicas, debido a las consecuencias del cambio climático es que se asume el periodo de retorno mayor cómo se observa en el cuadro 3.7.q.

**Cuadro 3.7.q****Riesgos asociados con cada uno de las clases de estructuras hidráulicas**

Clase de estructura	Capacidad/Tiempo de retorno, en años	Riesgo de estar sobrepasado durante su vida útil
Drenaje de plataforma	<b>10</b>	0,9282
Alcantarilla menor	<b>25</b>	0,6396
Alcantarilla mayor	<b>50</b>	0,3965
Puentes	<b>150</b>	0,1540

**3.7.10 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS.**

Una vez que se tienen las relaciones Intensidad – Duración – Periodo de Retorno, los caudales máximos pueden estimarse usando el método o fórmula racional.

Este método es usado, en general, para la estimación de caudales máximos en obras de alcantarillas en carreteras y otras obras de arte.

Los caudales de diseño fueron determinados por dos tipos de procedimientos, el primero para cuencas bien definidas cuya delimitación puede realizarse en cartas geográficas del IGM a escala 1:50000 y el segundo aplicable a cuencas menores o áreas de aporte con cuencas no bien definidos de área menor a 5 km<sup>2</sup>.

**3.7.10.1 METODO RACIONAL**

La ecuación del método racional responde a la siguiente expresión:

$$Q_t = CU * \frac{C * I_{(t,T)} * A}{3.6}$$

$$CU = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$



Donde:

$Q_t$  = Caudal para un periodo de retorno T ( $m^3/s$ ).

C = Coeficiente de escorrentía (relación entre la cantidad de agua que escurre entre el total de agua que precipita).

$I_{(t,T)}$  = Intensidad media máxima de precipitación (mm/hora), para una duración t y un periodo de retorno T.

A = Área de la cuenca o superficie drenada ( $km^2$ ).

CU = Coeficiente de Uniformidad .

Tc = Tiempo de concentración

### **Delimitación de las cuencas de aporte a las obras del camino.**

Para la delimitación de las cuencas de aporte de las diferentes obras de drenaje del camino, se utilizaron las cartas del IGM escala 1: 50000, las mismas que fueron posteriormente digitalizadas para poder conocer su área, la longitud del curso principal, sus pendientes medias, etc. parámetros necesarios para el cálculo de los caudales extraordinarios de aporte.

Los cursos de drenaje más importantes que cruza la carretera son: la quebrada el Chorro, quebrada Llushkara, río San Andrés, y afluentes al río el Molino.

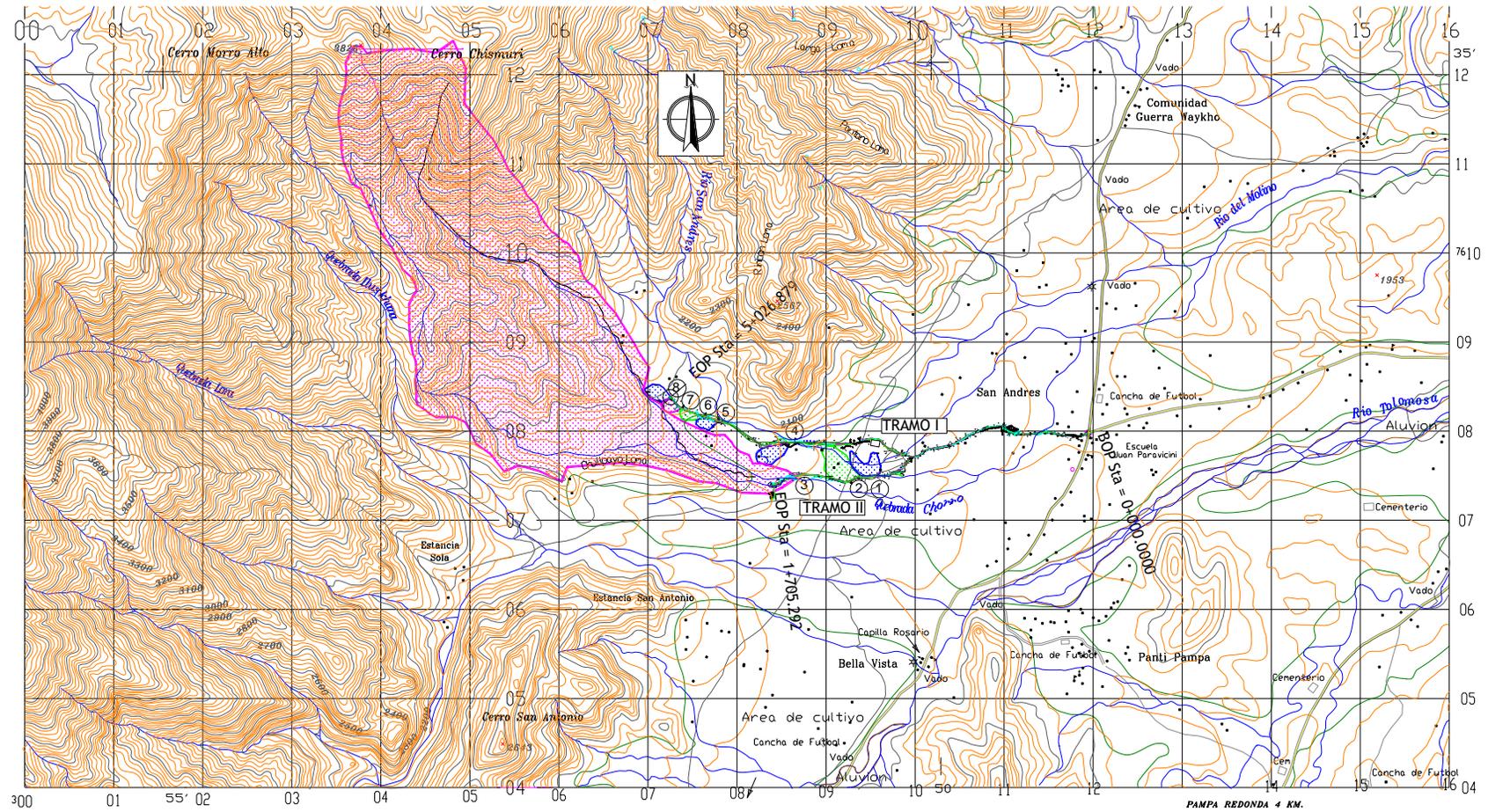
Las obras de drenaje en este proyecto son debido al desagüe de las aguas que en época de lluvia rebalsan del lecho de los cursos que delimitan el camino mencionados anteriormente, ó de las acequias que los de la comunidad utilizan para regar sus sembradíos, sólo existe un curso la quebrada Chorro que atraviesa el trazo del eje del camino en que se emplazará un puente tramo II progresiva 1+440.

También se construirá canales de paso que cruzan la carretera en distintas progresivas cómo se indica en el Informe Hidráulico

El mapa con la delimitación de las áreas de aporte a cada una de las obras de drenaje consideradas en el estudio se muestran en la FIG.10.



FIG.10





### 3.7.10.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Existen fórmulas que dan el tiempo de concentración sin tener en cuenta la intensidad de la lluvia:

- Ventura

$$T_c = 0.1272 * (A / i)^{1/2}$$

- Giandotti

$$t_c = \frac{4 * A^{1/2} + 1.5 L}{0.8 H^{1/2}}$$

- Bureau of Reclamation

$$t_c = (0.871 L^3 / H)^{0.385}$$

- U. S. Soil Conservation Service

$$t_c = 0.95 * (L^3 / H)^{0.385}$$

A: superficie de la cuenca.

H: diferencia de altura entre desagüe y la cima de la cuenca.

L: longitud del curso principal.

Sacando la media aritmética de los resultados obtenidos, adoptamos un tiempo de concentración que se muestra en el Cuadro 3.7.r, para las diferentes cuencas previstas para las obras del camino.



Cuadro 3.7.r

TIEMPO DE CONCENTRACION (HORAS)						
Tramo	Unidad o	Curso	Ventura	KIRPICH	Giandotti	BUREAU OF RECLAMATION
	Cuenca	Principal				
II	1	Q1	0,243	0,145	0,759	0,150
II	2	Q2	0,283	0,158	0,779	0,164
II	3	Qda. Chorro	0,028	0,000	0,424	0,000
I	4	Q4	0,298	0,152	1,002	0,158
I	5	Q5	0,099	0,056	0,429	0,058
I	6	Q6	0,109	0,096	0,442	0,099
I	7	Q7	0,095	0,065	0,407	0,067
I	8	Q8	0,162	0,209	0,563	0,216

### 3.7.10.3 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad CU corrige el supuesto reparto uniforme de la escorrentía dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración contemplado en la formulación el método racional.

Aunque el coeficiente de uniformidad varia de un aguacero a otro, su valor medio en una cuenca concreta depende principalmente de su tiempo de concentración.

$$CU = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

### 3.7.10.4 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Los coeficientes de escurrimiento dependen de las características del terreno, uso y manejo del suelo, necesita un criterio técnico adecuado y experiencia para seleccionar un valor representativo. Ver Cuadro No 3.7.s:



**Cuadro No 3.7.s**  
**COEFICIENTES DE ESCORRENTIA (C) PARA T=10 AÑOS**

FACTOR	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
<b>Relieve</b>	0,28-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%	0,20-0,28 Montañoso con pendientes entre 10% y 30%	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes menores al 5%
<b>Infiltración</b>	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración mal drenados	0,06-0,08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos, arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
<b>Cobertura Vegetal</b>	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura	0,06-0,08 Regular a buena; 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado.	0,04-0,06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente.
<b>Almacenamiento Superficial</b>	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas.	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas.	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantano, lagunas y lagos.	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas

Según el Manual de Hidrología y Drenaje de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

Los caudales de diseño de cada una de las obras previstas se muestran en el Cuadro 3.7.t.

**Cuadro 3.7.t**

Tramo	Unidad o Cuenca	Prog km+m	CAUDALES MAXIMOS (m3/s)				
			Periodo de Retorno (años)				
			10	25	50	100	150
II	1	0+475,96	1,32	1,68	2,02	2,31	2,52
II	2	0+679,80	2,13	2,72	3,27	3,73	4,07
II	3	1+440,00	325,40	415,45	500,66	570,95	622,90
I	4	3+574,98	0,91	1,16	1,40	1,60	1,74
I	5	4+424,55	0,75	0,96	1,16	1,32	1,44
I	6	4+565,38	0,64	0,81	0,98	1,12	1,22
I	7	4+848,75	0,69	0,88	1,06	1,21	1,32
I	8	4+999,18	0,85	1,08	1,30	1,48	1,62

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.99 cms

Maximum Flow: 1.19 cms

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 1**

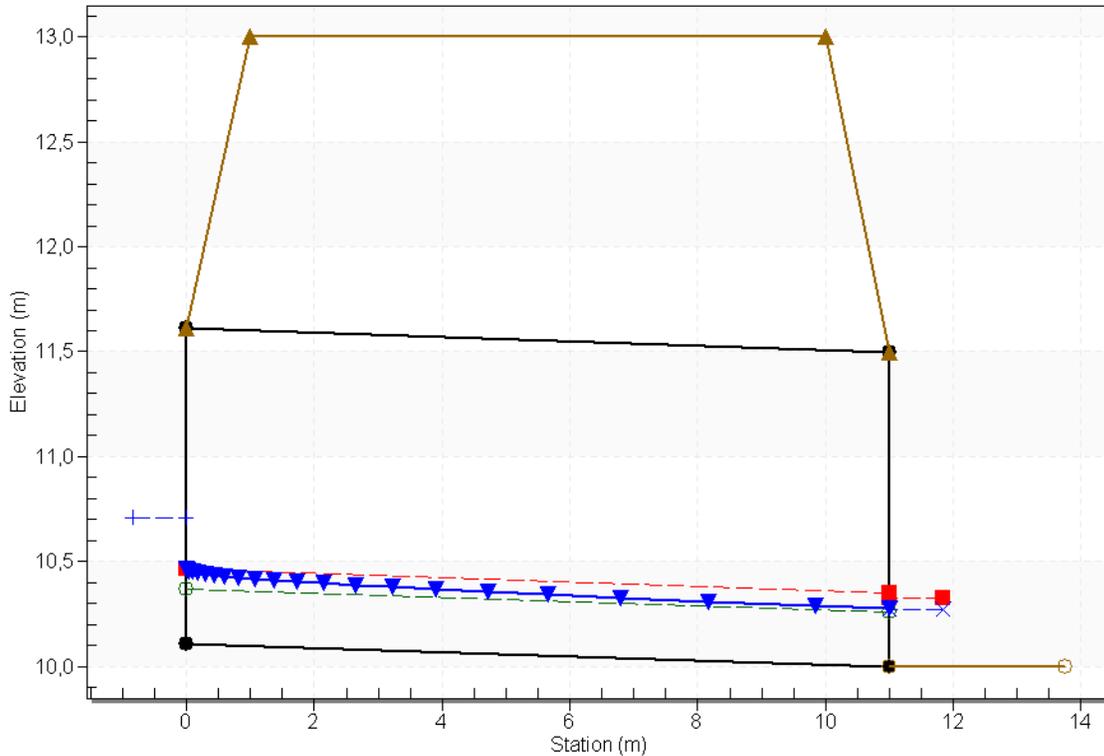
<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 1 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.24	0.10	0.10	0.00	1
10.32	0.21	0.21	0.00	1
10.39	0.32	0.32	0.00	1
10.45	0.43	0.43	0.00	1
10.51	0.53	0.53	0.00	1
10.56	0.64	0.64	0.00	1
10.61	0.75	0.75	0.00	1
10.66	0.86	0.86	0.00	1
10.71	0.99	0.99	0.00	1
10.75	1.08	1.08	0.00	1
10.79	1.19	1.19	0.00	1
13.00	8.14	8.14	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 1

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 1

Crossing - Crossing 1, Design Discharge - 0.99 cms

Culvert - Alcant 1, Culvert Discharge - 0.99 cms



### Site Data - Alcant 1

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.11 m

Outlet Station: 11.00 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 1

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1500.00 mm

Barrel Rise: 1500.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 1

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 1)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.07	0.07	0.93	14.18	1.15
0.21	10.11	0.11	1.21	22.06	1.22
0.32	10.14	0.14	1.41	28.36	1.26
0.43	10.16	0.16	1.56	33.83	1.28
0.53	10.19	0.19	1.68	38.73	1.31
0.64	10.21	0.21	1.79	43.25	1.32
0.75	10.23	0.23	1.88	47.44	1.33
0.86	10.25	0.25	1.97	51.40	1.34
0.99	10.27	0.27	2.06	55.74	1.36
1.08	10.29	0.29	2.12	58.69	1.36
1.19	10.30	0.30	2.18	62.10	1.37

### Tailwater Channel Data - Crossing 1

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0210

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.63 cms

Maximum Flow: 0.83 cms

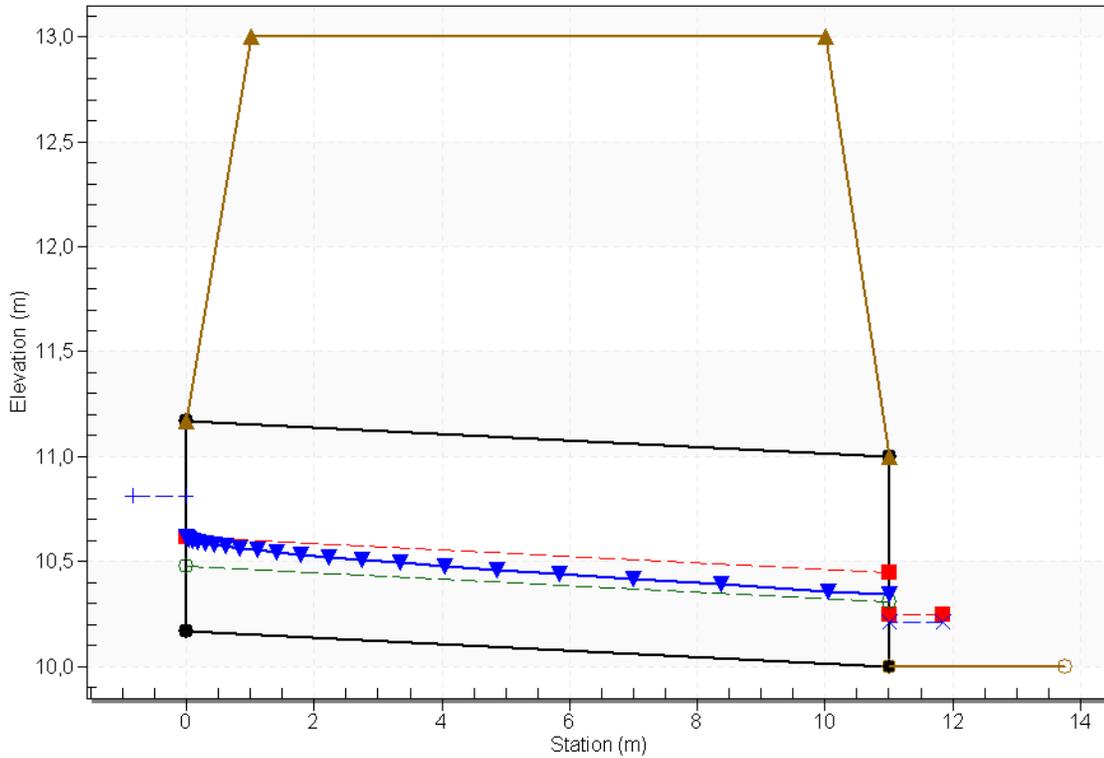
**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 2**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 2 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.40	0.10	0.10	0.00	1
10.48	0.17	0.17	0.00	1
10.54	0.25	0.25	0.00	1
10.60	0.32	0.32	0.00	1
10.65	0.39	0.39	0.00	1
10.70	0.46	0.46	0.00	1
10.75	0.54	0.54	0.00	1
10.81	0.63	0.63	0.00	1
10.85	0.68	0.68	0.00	1
10.89	0.75	0.75	0.00	1
10.93	0.83	0.83	0.00	1
13.00	3.20	3.20	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 2

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 2

Crossing - Crossing 2, Design Discharge - 0.63 cms  
Culvert - Alcant 2, Culvert Discharge - 0.63 cms



### Site Data - Alcant 2

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.17 m

Outlet Station: 11.01 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 2

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 2

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 2)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.07	0.07	0.90	13.22	1.10
0.17	10.10	0.10	1.10	18.35	1.15
0.25	10.12	0.12	1.24	22.66	1.18
0.32	10.14	0.14	1.36	26.47	1.20
0.39	10.16	0.16	1.46	29.94	1.22
0.46	10.18	0.18	1.55	33.15	1.23
0.54	10.19	0.19	1.63	36.15	1.25
0.63	10.21	0.21	1.72	39.67	1.26
0.68	10.22	0.22	1.76	41.70	1.26
0.75	10.24	0.24	1.82	44.28	1.27
0.83	10.25	0.25	1.88	46.76	1.28

### Tailwater Channel Data - Crossing 2

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (:1)

Channel Slope: 0.0190

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.90 cms

Maximum Flow: 1.09 cms

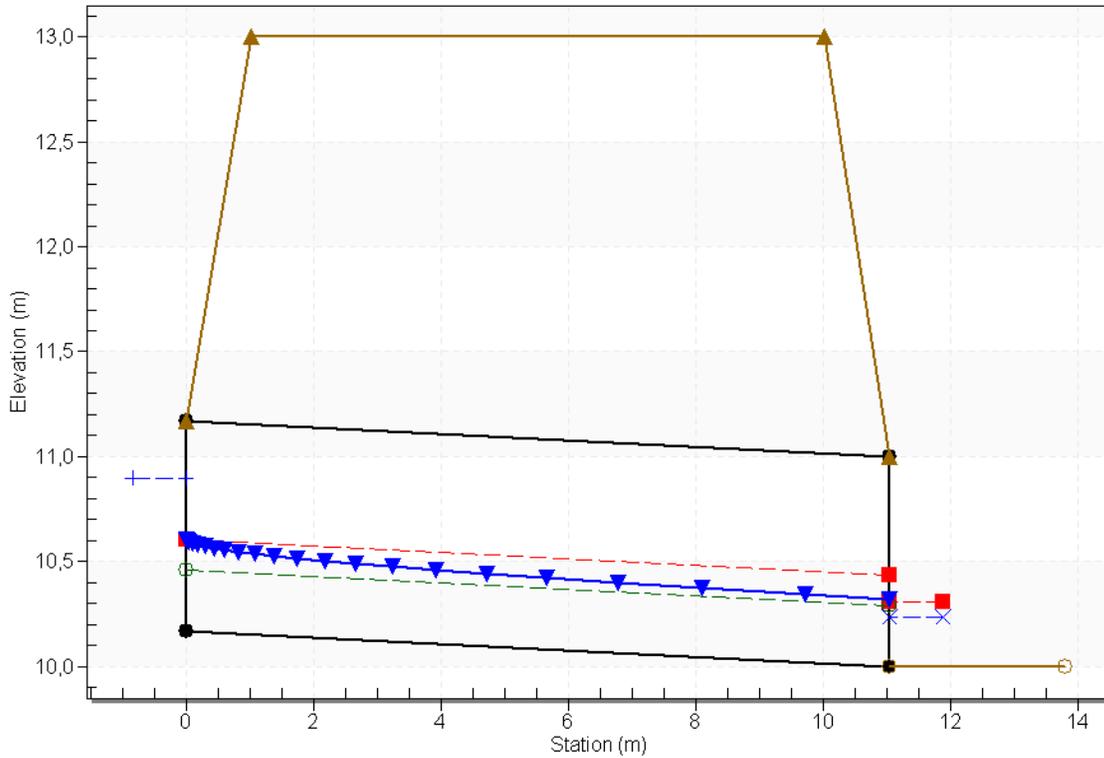
**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 3**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 3 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.34	0.10	0.10	0.00	1
10.44	0.20	0.20	0.00	1
10.52	0.30	0.30	0.00	1
10.60	0.40	0.40	0.00	1
10.67	0.50	0.50	0.00	1
10.73	0.60	0.60	0.00	1
10.79	0.70	0.70	0.00	1
10.84	0.80	0.80	0.00	1
10.90	0.90	0.90	0.00	1
10.95	1.00	1.00	0.00	1
11.00	1.09	1.09	0.00	1
13.00	3.93	3.93	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 3

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 3

Crossing - Crossing 3, Design Discharge - 0.90 cms  
Culvert - Alcant 3, Culvert Discharge - 0.90 cms



### Site Data - Alcant 3

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.17 m

Outlet Station: 11.04 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 3

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1000.00 mm

Barrel Rise: 1000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 3

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 3)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.06	0.06	1.00	16.90	1.29
0.20	10.10	0.10	1.29	25.61	1.36
0.30	10.12	0.12	1.49	32.64	1.41
0.40	10.15	0.15	1.65	38.77	1.44
0.50	10.17	0.17	1.78	44.29	1.46
0.60	10.19	0.19	1.90	49.39	1.48
0.70	10.20	0.20	2.00	54.13	1.49
0.80	10.22	0.22	2.09	58.59	1.51
0.90	10.24	0.24	2.17	62.79	1.52
1.00	10.25	0.25	2.25	66.88	1.53
1.09	10.27	0.27	2.32	70.75	1.54

### Tailwater Channel Data - Crossing 3

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0270

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.33 cms

Maximum Flow: 0.53 cms

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 4**

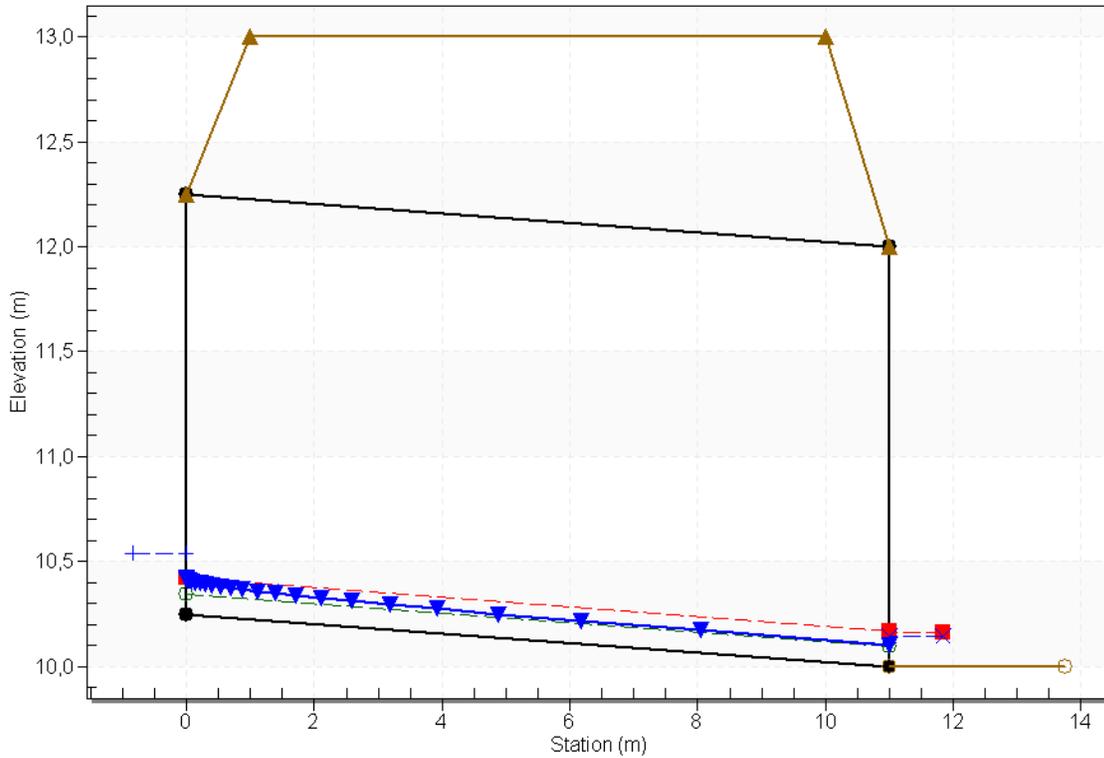
<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 4 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.38	0.10	0.10	0.00	1
10.41	0.14	0.14	0.00	1
10.45	0.19	0.19	0.00	1
10.47	0.23	0.23	0.00	1
10.50	0.27	0.27	0.00	1
10.54	0.33	0.33	0.00	1
10.55	0.36	0.36	0.00	1
10.58	0.40	0.40	0.00	1
10.60	0.44	0.44	0.00	1
10.62	0.49	0.49	0.00	1
10.64	0.53	0.53	0.00	1
13.00	9.11	9.11	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 4

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 4

Crossing - Crossing 4, Design Discharge - 0.33 cms

Culvert - Alcant 4, Culvert Discharge - 0.33 cms



### Site Data - Alcant 4

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.25 m

Outlet Station: 11.00 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 4

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1500.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 4

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 4)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.07	0.07	0.90	13.22	1.10
0.14	10.09	0.09	1.02	16.40	1.13
0.19	10.10	0.10	1.13	19.21	1.15
0.23	10.12	0.12	1.21	21.77	1.17
0.27	10.13	0.13	1.29	24.14	1.19
0.33	10.15	0.15	1.38	27.13	1.20
0.36	10.15	0.15	1.42	28.45	1.21
0.40	10.16	0.16	1.48	30.45	1.22
0.44	10.17	0.17	1.53	32.37	1.23
0.49	10.18	0.18	1.58	34.20	1.24
0.53	10.19	0.19	1.62	35.98	1.24

### Tailwater Channel Data - Crossing 4

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0190

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.16 cms

Maximum Flow: 0.36 cms

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 5**

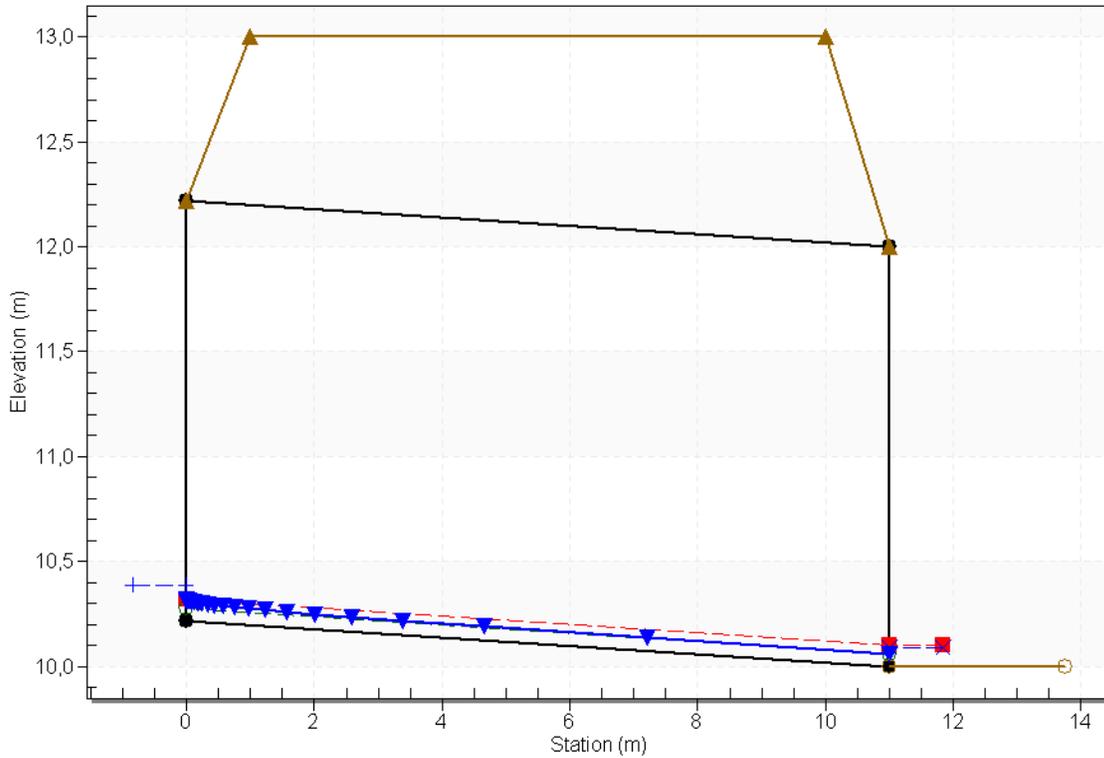
<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 5 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.34	0.10	0.10	0.00	1
10.36	0.13	0.13	0.00	1
10.39	0.16	0.16	0.00	1
10.40	0.18	0.18	0.00	1
10.42	0.20	0.20	0.00	1
10.43	0.23	0.23	0.00	1
10.45	0.25	0.25	0.00	1
10.47	0.28	0.28	0.00	1
10.48	0.30	0.30	0.00	1
10.49	0.33	0.33	0.00	1
10.51	0.36	0.36	0.00	1
13.00	9.82	9.82	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 5

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 5

Crossing - Crossing 5, Design Discharge - 0.16 cms

Culvert - Alcant 5, Culvert Discharge - 0.16 cms



### Site Data - Alcant 5

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.22 m

Outlet Station: 11.00 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 5

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1600.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 5

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 5)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.07	0.07	0.93	14.18	1.15
0.13	10.08	0.08	1.01	16.26	1.17
0.16	10.09	0.09	1.09	18.53	1.19
0.18	10.10	0.10	1.14	19.97	1.20
0.20	10.11	0.11	1.20	21.66	1.22
0.23	10.11	0.11	1.25	23.27	1.23
0.25	10.12	0.12	1.30	24.81	1.24
0.28	10.13	0.13	1.34	26.27	1.25
0.30	10.13	0.13	1.39	27.69	1.26
0.33	10.14	0.14	1.43	29.06	1.26
0.36	10.15	0.15	1.46	30.39	1.27

### Tailwater Channel Data - Crossing 5

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0210

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.01 cms

Design Flow: 0.03 cms

Maximum Flow: 0.23 cms

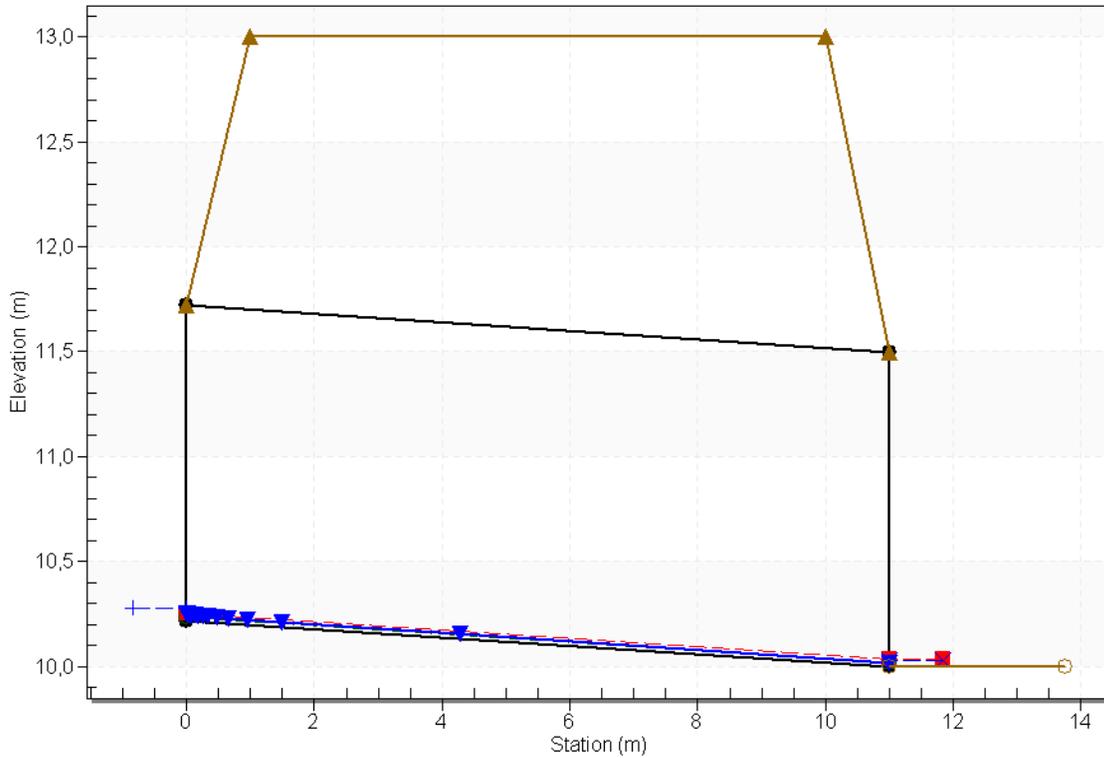
**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 6**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 6 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.25	0.01	0.01	0.00	1
10.28	0.03	0.03	0.00	1
10.31	0.05	0.05	0.00	1
10.33	0.08	0.08	0.00	1
10.35	0.10	0.10	0.00	1
10.37	0.12	0.12	0.00	1
10.38	0.14	0.14	0.00	1
10.40	0.16	0.16	0.00	1
10.41	0.19	0.19	0.00	1
10.43	0.21	0.21	0.00	1
10.44	0.23	0.23	0.00	1
13.00	7.89	7.89	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 6

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 6

Crossing - Crossing 6, Design Discharge - 0.03 cms  
Culvert - Alcant 6, Culvert Discharge - 0.03 cms



### Site Data - Alcant 6

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.22 m

Outlet Station: 11.00 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 6

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1500.00 mm

Barrel Rise: 1500.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 6

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 6)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.01	10.02	0.02	0.43	4.77	1.13
0.03	10.03	0.03	0.66	9.04	1.25
0.05	10.04	0.04	0.84	13.11	1.32
0.08	10.05	0.05	0.95	16.11	1.36
0.10	10.06	0.06	1.05	18.76	1.39
0.12	10.07	0.07	1.13	21.19	1.42
0.14	10.07	0.07	1.20	23.45	1.44
0.16	10.08	0.08	1.27	25.56	1.45
0.19	10.09	0.09	1.33	27.58	1.47
0.21	10.09	0.09	1.38	29.48	1.48
0.23	10.10	0.10	1.43	31.32	1.49

### Tailwater Channel Data - Crossing 6

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0320

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.47 cms

Maximum Flow: 0.67 cms

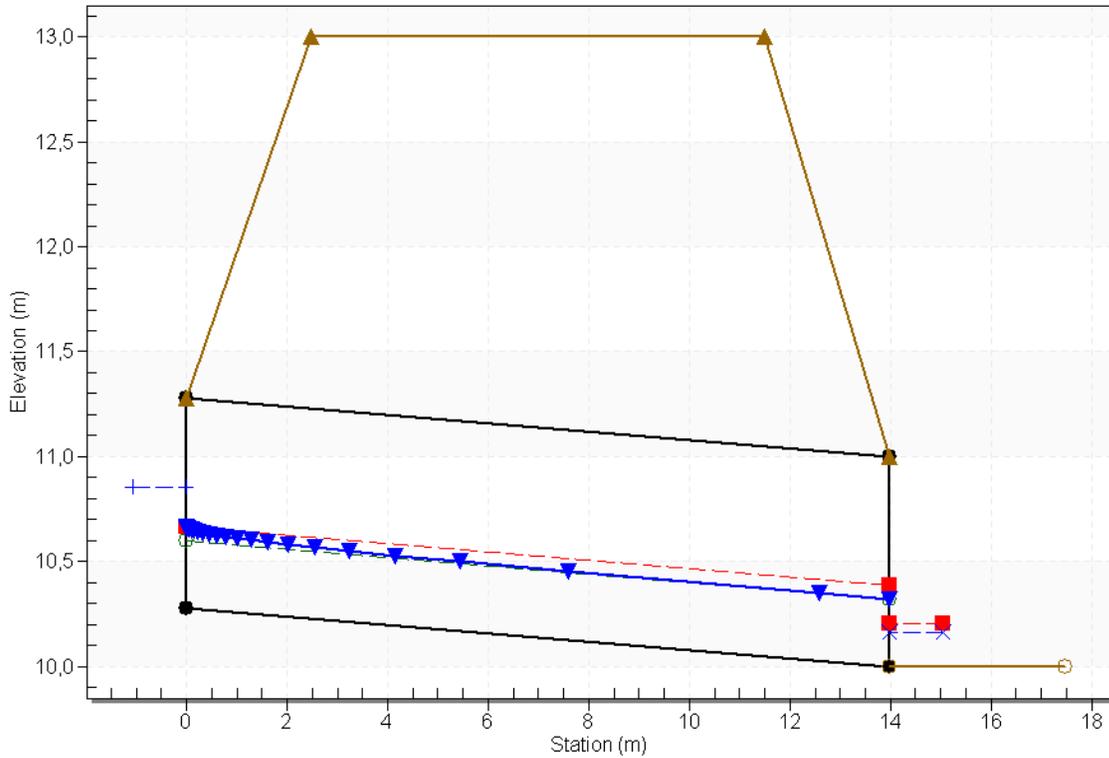
**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 7**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 7 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.53	0.10	0.10	0.00	1
10.60	0.16	0.16	0.00	1
10.65	0.21	0.21	0.00	1
10.70	0.27	0.27	0.00	1
10.75	0.33	0.33	0.00	1
10.79	0.39	0.39	0.00	1
10.85	0.47	0.47	0.00	1
10.87	0.50	0.50	0.00	1
10.91	0.56	0.56	0.00	1
10.95	0.61	0.61	0.00	1
10.99	0.67	0.67	0.00	1
13.00	2.70	2.70	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 7

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 7

Crossing - Crossing 7, Design Discharge - 0.47 cms  
Culvert - Alcant 7, Culvert Discharge - 0.47 cms



### Site Data - Alcant 7

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.28 m

Outlet Station: 13.98 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 7

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1000.00 mm

Barrel Material: Corrugated Steel

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0210

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Thin Edge Projecting

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 7

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 7)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.06	0.06	1.01	17.34	1.31
0.16	10.08	0.08	1.20	22.74	1.36
0.21	10.10	0.10	1.34	27.39	1.40
0.27	10.12	0.12	1.46	31.57	1.42
0.33	10.13	0.13	1.56	35.40	1.44
0.39	10.14	0.14	1.65	38.96	1.46
0.47	10.16	0.16	1.77	43.90	1.48
0.50	10.17	0.17	1.81	45.50	1.49
0.56	10.18	0.18	1.88	48.53	1.50
0.61	10.19	0.19	1.94	51.45	1.51
0.67	10.20	0.20	2.00	54.24	1.52

### Tailwater Channel Data - Crossing 7

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (:1)

Channel Slope: 0.0280

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.28 cms

Maximum Flow: 0.48 cms

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 8**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 8 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.51	0.10	0.10	0.00	1
10.56	0.14	0.14	0.00	1
10.60	0.18	0.18	0.00	1
10.63	0.21	0.21	0.00	1
10.67	0.25	0.25	0.00	1
10.69	0.28	0.28	0.00	1
10.73	0.33	0.33	0.00	1
10.76	0.37	0.37	0.00	1
10.79	0.40	0.40	0.00	1
10.81	0.44	0.44	0.00	1
10.84	0.48	0.48	0.00	1
13.00	2.71	2.71	0.00	Overtopping



Barrel Manning's n: 0.0210

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Thin Edge Projecting

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 8

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 8)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.07	0.07	0.93	14.18	1.15
0.14	10.08	0.08	1.04	17.21	1.18
0.18	10.10	0.10	1.14	19.92	1.20
0.21	10.11	0.11	1.22	22.39	1.22
0.25	10.12	0.12	1.30	24.71	1.24
0.28	10.13	0.13	1.35	26.31	1.25
0.33	10.14	0.14	1.42	28.94	1.26
0.37	10.15	0.15	1.48	30.90	1.27
0.40	10.16	0.16	1.53	32.78	1.28
0.44	10.17	0.17	1.58	34.59	1.29
0.48	10.18	0.18	1.62	36.34	1.30

### Tailwater Channel Data - Crossing 8

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (:1)

Channel Slope: 0.0210

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.19 cms

Maximum Flow: 0.39 cms

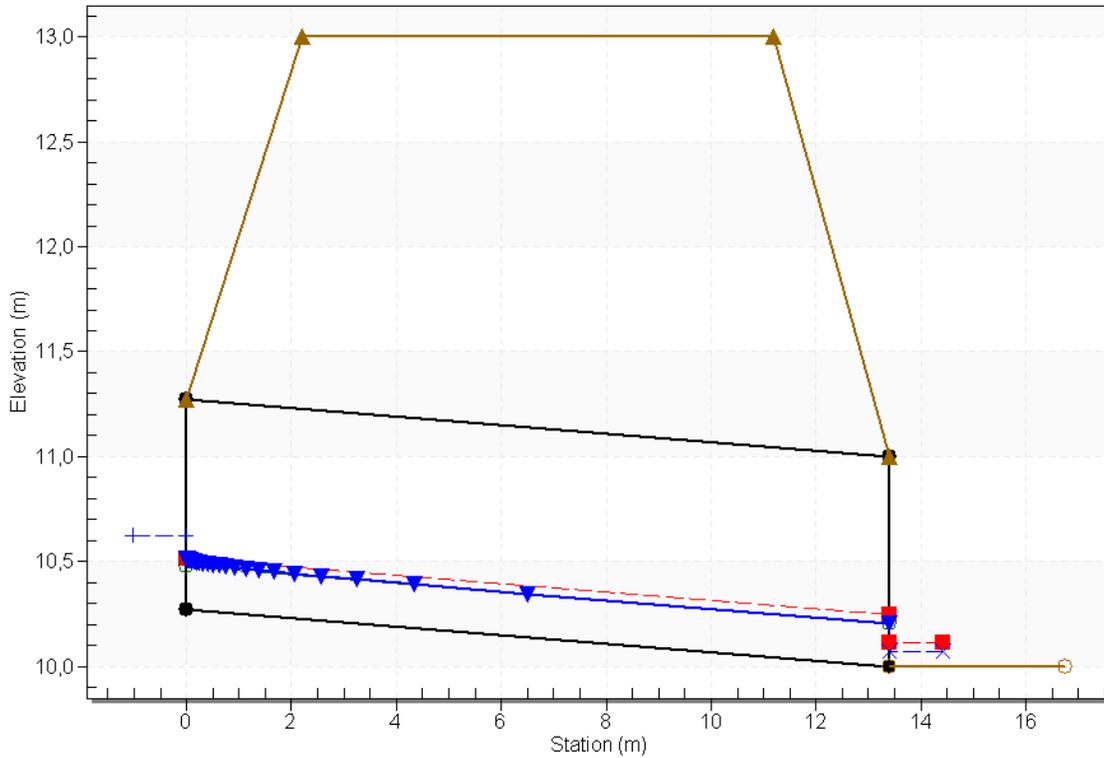
**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 9**

<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 9 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.52	0.10	0.10	0.00	1
10.56	0.13	0.13	0.00	1
10.59	0.16	0.16	0.00	1
10.63	0.19	0.19	0.00	1
10.65	0.22	0.22	0.00	1
10.67	0.25	0.25	0.00	1
10.70	0.28	0.28	0.00	1
10.72	0.31	0.31	0.00	1
10.74	0.34	0.34	0.00	1
10.77	0.37	0.37	0.00	1
10.79	0.39	0.39	0.00	1
13.00	2.70	2.70	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 9

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 9

Crossing - Crossing 9, Design Discharge - 0.19 cms  
Culvert - Alcant 9, Culvert Discharge - 0.19 cms



### Site Data - Alcant 9

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.27 m

Outlet Station: 13.40 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 9

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1000.00 mm

Barrel Material: Corrugated Steel

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0210

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Thin Edge Projecting

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 9

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 9)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.05	0.05	1.41	36.45	2.13
0.13	10.05	0.05	1.55	42.56	2.18
0.16	10.06	0.06	1.68	48.17	2.22
0.19	10.07	0.07	1.81	54.45	2.26
0.22	10.07	0.07	1.89	58.23	2.28
0.25	10.08	0.08	1.98	62.84	2.30
0.28	10.08	0.08	2.06	67.24	2.32
0.31	10.09	0.09	2.14	71.47	2.34
0.34	10.10	0.10	2.21	75.54	2.36
0.37	10.10	0.10	2.28	79.45	2.37
0.39	10.10	0.10	2.35	83.22	2.39

### Tailwater Channel Data - Crossing 9

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (:1)

Channel Slope: 0.0810

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m

# HY-8 Culvert Analysis Report

---

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0.10 cms

Design Flow: 0.46 cms

Maximum Flow: 0.66 cms

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: Crossing 10**

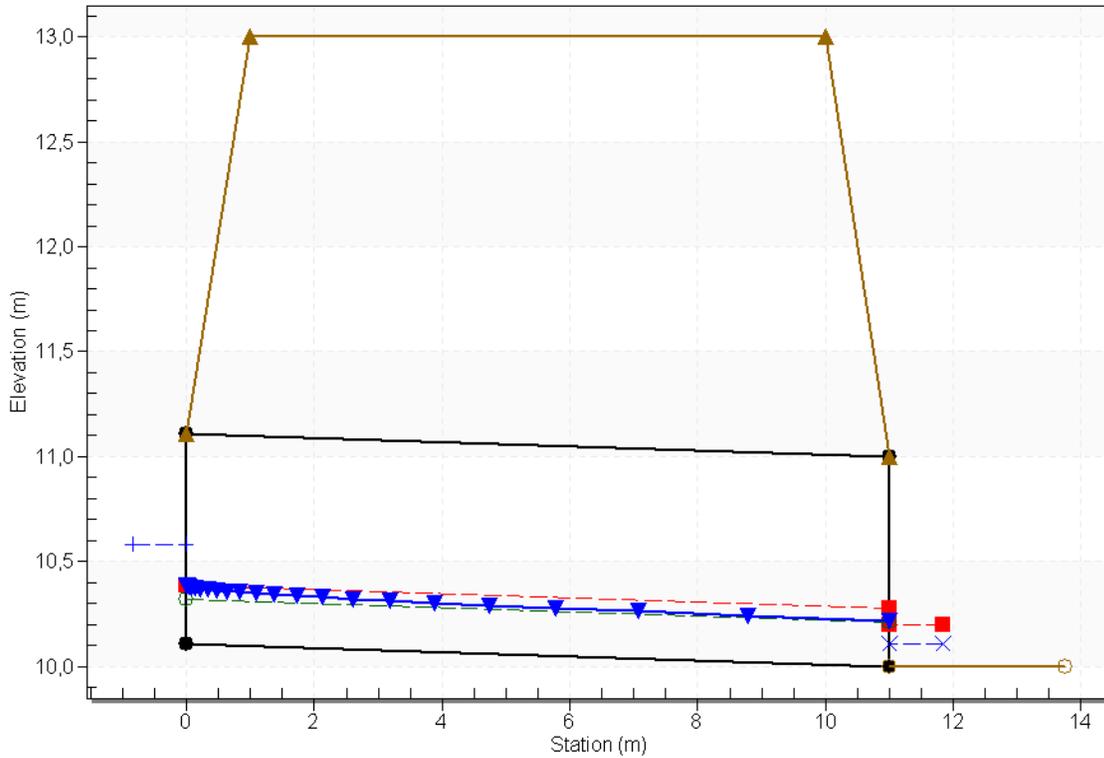
<b>Headwater Elevation (m)</b>	<b>Total Discharge (cms)</b>	<b>Alcant 10 Discharge (cms)</b>	<b>Roadway Discharge (cms)</b>	<b>Iterations</b>
10.28	0.10	0.10	0.00	1
10.34	0.16	0.16	0.00	1
10.39	0.21	0.21	0.00	1
10.44	0.27	0.27	0.00	1
10.48	0.32	0.32	0.00	1
10.53	0.38	0.38	0.00	1
10.58	0.46	0.46	0.00	1
10.60	0.49	0.49	0.00	1
10.64	0.54	0.54	0.00	1
10.67	0.60	0.60	0.00	1
10.71	0.66	0.66	0.00	1
13.00	3.99	3.99	0.00	Overtopping

## Culvert Data: Alcant 10

### Water Surface Profile Plot for Culvert: Alcant 10

Crossing - Crossing 10, Design Discharge - 0.46 cms

Culvert - Alcant 10, Culvert Discharge - 0.46 cms



### Site Data - Alcant 10

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 10.11 m

Outlet Station: 11.00 m

Outlet Elevation: 10.00 m

Number of Barrels: 1

### Culvert Data Summary - Alcant 10

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 1000.00 mm

Barrel Rise: 1000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0130

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall (Ke=0.5)

Inlet Depression: None

### Tailwater Data for Crossing: Crossing 10

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Crossing 10)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.10	10.04	0.04	1.47	40.15	2.27
0.16	10.06	0.06	1.74	52.36	2.36
0.21	10.07	0.07	1.95	62.94	2.42
0.27	10.08	0.08	2.13	72.43	2.47
0.32	10.09	0.09	2.28	81.16	2.51
0.38	10.10	0.10	2.41	89.31	2.54
0.46	10.11	0.11	2.58	99.94	2.57
0.49	10.11	0.11	2.65	104.23	2.59
0.54	10.12	0.12	2.75	111.19	2.61
0.60	10.13	0.13	2.85	117.87	2.63
0.66	10.14	0.14	2.94	124.30	2.65

### Tailwater Channel Data - Crossing 10

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 1.50 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0930

Channel Manning's n: 0.0250

Channel Invert Elevation: 10.00 m